

HUMANIDADES, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN PUEBLA

ACADEMIA JOURNALS



OPUS PRO SCIENTIA ET STUDIUM

ISSN 2644-0903 online

VOL. 2, NO. 1, 2020

WWW.ACADEMIJOURNALS.COM

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN AUSPICIADO POR EL CONVENIO CONCYTEP-ACADEMIA JOURNALS



EDUARDO CANEK REYNOSO CAMARGO

EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL HERBICIDA GLIFOSATO EN AGUAS DE LA LOCALIDAD DE
TENAMPULCO, PUEBLA PARA LA MODELACIÓN DE LA EXPOSICIÓN HUMANA

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

DIRECTOR: DR. RICARDO DARÍO PEÑA MORENO

TUTOR: DR. EDUARDO TORRES RAMÍREZ

INTEGRANTES DEL COMITÉ TUTORAL: DRA. MARÍA GUADALUPE TENORIO ARVIDE

DR. DELFINO REYES LÓPEZ

DRA. AMPARO MAURICIO GUTIÉRREZ

DRA. LAURA MORALES LARA

NÚMERO DE SECUENCIA 2-54



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”

**EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL HERBICIDA GLIFOSATO EN AGUAS DE LA LOCALIDAD DE
TENAMPULCO, PUEBLA PARA LA MODELACIÓN DE LA EXPOSICIÓN HUMANA.**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

EDUARDO CANEK REYNOSO CAMARGO

Comité tutorial:

Director	Dr. Ricardo Darío Peña Moreno
Tutor	Dr. Eduardo Torres Ramírez
Integrante Comité Tutorial	Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide
Integrante Comité Tutorial	Dr. Delfino Reyes López
Integrante Comité Tutorial	Dra. Amparo Mauricio Gutiérrez
Integrante Comité Tutorial	Dra. Laura Morales Lara

Agosto 2019

Evaluación espacio-temporal del herbicida glifosato en aguas de la localidad de Tenampulco, Puebla para la modelación de la exposición humana.

Eduardo Canek Reynoso Camargo

RESUMEN

A pesar de la evidencia sobre las consecuencias en salud pública y ambiental por el uso de glifosato, es el herbicida más vendido y utilizado en el mundo. En México está permitida su presencia en agua en concentraciones 100 veces más elevada que en la Unión Europea. A pesar de que la legislatura mexicana establece programas de monitoreo para determinar la presencia de este tipo de contaminantes en el agua para uso y consumo, la realidad es que no existen las herramientas y los mecanismos de implementación para la prevención y el control de riesgos, tanto ambientales como sociales y económicos. En este trabajo se realizó una determinación espacio-temporal del herbicida glifosato en diferentes cuerpos de agua (subterránea, superficial y embotellada) de la localidad de Tenampulco, Puebla. Se realizaron tres muestreos en el periodo de mayo 2018 – febrero 2019, las muestras de agua fueron tomadas y transportadas de acuerdo a la normativa mexicana vigente. Para detectar la presencia de glifosato se realizó el ensayo de inmunoabsorción ligado a enzimas (ELISA, por sus siglas en inglés). Los resultados arrojaron que el 66% de los puntos de muestreo presentaron concentraciones medibles del herbicida. Aunque los valores donde hubo presencia de glifosato no sobrepasaron el máximo permitido por la legislación mexicana, se detectó una problemática en cuanto a su uso y aplicación. Lo anterior indica la deficiencia de programas de monitoreo que ayuden al control de la contaminación del recurso natural y prevención de posibles riesgos por exposición.



BUAP

C. Eduardo Canek Reynoso Camargo

Por este conducto me permito comunicarle que los miembros del jurado integrado por:

<i>Dra. Marcela Ayala Aceves</i>	<i>Presidente</i>
<i>Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega</i>	<i>Secretario</i>
<i>Dra. Araceli Espinoza Márquez</i>	<i>1er. Vocal</i>
<i>Dra. Wendy Argelia García Suasteguí</i>	<i>2do. Vocal</i>
<i>Dra. María Lilia Cedillo Ramírez</i>	<i>Suplente</i>

Designado para la defensa de su tesis "**Evaluación espacio-temporal del herbicida glifosato en aguas de la localidad de Tenampulco, Puebla para la modelación de la exposición humana**" han manifestado mediante su voto que esta cumple con los méritos suficientes para ser defendida como tesis de grado de Maestría en Ciencias Ambientales, por lo que este Posgrado le autoriza la impresión de la misma.

Sin otro asunto en lo particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE
"PENSAR BIEN, PARA VIVIR MEJOR"
H. PUEBLA DE Z; JULIO 31 DE 2019
E. Torres R.
DR. EDUARDO TORRES RAMÍREZ
COORDINADOR



ETR/melh
c.c.p. Archivo
c.c.p. Minutario

Posgrado en Ciencias Ambientales
Instituto de Ciencias (ICUAP)

Edificio IC6,
Ciudad Universitaria,
Col. San Manuel, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7056

*AGRADEZCO AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
(CONACyT) POR LA BECA OTORGADA PARA LA REALIZACIÓN DE
ESTE PROYECTO.*

*A LA BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA (BUAP)
POR PERMITIRME FORMAR PARTE DE ESTA GRAN INSTITUCIÓN Y
PODER PREPARARME ACADÉMICAMENTE.*

*AL POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES POR POSIBILITAR MI
DESARROLLO PROFESIONAL.*

*AL CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE PUEBLA
(CONyTEP) POR EL APOYO Y ESTIMULOS ECONÓMICOS*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las personas que han formado parte de mi vida y que me han apoyado y animado para lograr este objetivo y seguir adelante.

En primer lugar, agradezco al Doctor Ricardo Peña y al Doctor Eduardo Torres por las enseñanzas, confianza y apoyo que brindaron desde el primer día.

Al Doctor Delfino Reyes y a Don Ángel por mostrarme ese gran conocimiento, tanto de Tenampulco como de la vida.

A todo el comité tutorial, Doctora Guadalupe Tenorio, Doctora Amparo Mauricio y a la Doctora Laura Morales, que gracias a sus concejos y experiencia se realizó este trabajo.

Te agradezco inmensamente Yas por el soporte, empuje, enseñanzas y principalmente amor que me diste cada día y que contribuyó en cada hoja de este trabajo.

A todos mis compañeros de clase y laboratorio por su alegría, dinamismo y fraternidad que nunca imagine encontrar en mi vida.

A mi madre por todo su amor, conocimiento y ejemplo de vida que me has dado siempre.

A toda mi familia que toda la vida han aportado algo y que nunca me han dejado de brindar ese cariño que se requiere para es lograr esta meta.

DEDICATORIAS

Este trabajo lo dedico principalmente a ti Yas, ya que eres la persona más importante y gracias a ti pudimos hacer posible este logro.

También dedico este trabajo a mi mamá por ser parte fundamental en mi vida y nunca dejar de animarme y aconsejarme en cada etapa.

Finalmente le dedico este trabajo a toda mi familia, en especial a mi papá, a mi hermana y Moy, por su confianza y soporte.

Este logro no solo es mio sino de todas las personas que estuvieron a mi lado en cada paso y contribuyeron en cada palabra.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. MARCO TEÓRICO	4
3.1. IMPORTANCIA DEL AGUA Y LA PROBLEMÁTICA DE SU CONTAMINACIÓN.	4
3.2. EL USO DE PLAGUICIDAS Y SU PROBLEMÁTICA CON LOS SISTEMAS ACUÍFEROS.	5
3.3. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICA ASOCIADA A GLIFOSATO.	7
3.3.1. <i>Generalidades del glifosato.</i>	7
3.3.2. <i>Glifosato como contaminante emergente.</i>	11
3.3.3. <i>Distribución y persistencia del glifosato en suelo y cuerpos de agua.</i>	11
3.3.4. <i>Exposición y Toxicidad</i>	15
3.3.5. <i>Métodos de detección</i>	18
3.3.6. <i>Marco legal</i>	19
3.4. MODELACIÓN DE LA EXPOSICIÓN.....	21
IV. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	24
V. HIPÓTESIS.	24
VI. OBJETIVOS	24
6.1. OBJETIVO GENERAL.	24
6.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	25
VII. DISEÑO EXPERIMENTAL.	25
7.1. ZONA DE ESTUDIO: LOCALIDAD DE TENAMPULCO, PUEBLA.....	25
7.2. MATERIALES Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
7.2.1. <i>Fase de campo.</i>	26
7.2.1.1. Muestreos de campo.	26
7.2.1.2. Análisis de conductividad, pH y temperatura.....	28
7.2.1.3. Aplicación de encuestas.....	28
7.2.2. <i>Fase de laboratorio.</i>	29
7.2.2.1. Caracterización del agua.....	29
7.2.2.1.1 Determinación de fosfato, sulfato, hierro, calcio, nitrato, cloro, magnesio y demanda química de oxígeno (DQO).	29
7.2.2.1.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).	29
7.2.2.2. Determinación cuantitativa de glifosato mediante Inmunoensayo.....	30
7.2.2.3. Análisis estadístico	31
7.2.2.4. Modelación matemática.	32
7.2.2.4.1. Elaboración de isoyetas e isotermas.	32
7.2.2.4.2. Modelación del grado de exposición humana mediante lógica difusa.....	32
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
8.1. MUESTREO EN CAMPO.....	34
8.1.1. <i>Conductividad, temperatura y pH del agua.</i>	36
8.1.2. <i>Resultados de encuestas.</i>	39

8.2. RESULTADOS DE LABORATORIO	44
8.2.1. <i>Caracterización del agua.</i>	44
8.2.1.1. Determinación de fosfato, sulfato, hierro, calcio, nitrato, cloro, magnesio y demanda química de oxígeno (DQO).....	44
8.2.1.2. Demanda Biológica de Oxígeno.....	48
8.2.2. <i>Cuantificación de Glifosato en aguas de Tenampulco por inmunoensayo.</i>	49
8.2.3. <i>Análisis estadístico.</i>	53
8.2.4. <i>Modelación matemática.</i>	56
8.2.3.1. Precipitación y temperatura.....	56
8.2.3.2. Modelación de la exposición humana en la localidad de Tenampulco.....	58
IX. CONCLUSIONES.....	65
X. PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES	66
XI. REFERENCIAS	67
ANEXO 1. ENCUESTA.....	80
ANEXO 2. RESULTADOS DE ENCUESTAS.	83
ANEXO 3. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE LA EXPOSICIÓN.	95

RESUMEN

En este trabajo se evaluó el grado de exposición humana, en agua, al que esta la población de la localidad de Tenampulco por el herbicida más utilizado en el mundo, el glifosato. Se ha demostrado que el glifosato puede ser carcinogénico para las personas a diferentes concentraciones por lo que se determinó su presencia en una localidad donde es aplicado rutinariamente para combatir plantas que no son parte y que perjudican los cultivos de interés agrícola y económico, como lo es el maíz.

En la localidad de Tenampulco se encuestó a la población para conocer acerca de sus principales actividades económicas, para el caso de agricultores como manejan aplican plaguicidas, así como, las medidas de protección que utilizan y recomendadas, finalmente, se preguntó, a toda la población, acerca del manejo uso del agua, para poder relacionarlo con los niveles de exposición.

Se realizaron tres muestreos de agua (subterránea, superficial y embotellada) a lo largo de un año en 12 diferentes lugares. Para determinar su presencia en agua, se utilizó la técnica de inmunoensayo, encontrando glifosato en las tres etapas de muestreo en concentraciones que van de los 0.1 a los 4 $\mu\text{g/L}$ en 9 de los 12 puntos de muestreo.

Finalmente, para elaborar el modelo para determinar el grado de exposición, se utilizó la lógica difusa, con las variables de entrada (variables sociales acerca del uso y manejo del agua) y con las concentraciones de glifosato se obtuvieron los niveles de exposición. Se encontró que poco más del 50 % de la población tiene un grado de exposición entre alto y severo, es decir que diariamente una persona consume en promedio más de 5 μg de glifosato.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los elementos fundamentales para la vida, pues está involucrado en casi todos los procesos de los seres vivos, desde células procarióticas hasta células eucarióticas como mamíferos, pasando por plantas y hongos, ya sea como un sustrato para reacciones necesarias para el desarrollo y/o crecimiento o como producto metabólico (P. S. Kumar & Pavithra, 2019). Actualmente existe una gran preocupación por el buen manejo del agua, pues cada año mueren de entre 2 y 5 millones de personas por enfermedades relacionadas con el agua insalubre (Mays, 2012). La población actual es de aproximadamente 7 mil millones de personas y continúa creciendo de manera acelerada, en el año 2050 se estima que la población mundial sea de 9.1 miles de millones (FAO, 2011). Esta situación se torna aún más alarmante, ya que las poblaciones en zonas urbanas han aumentado 60 % en los últimos 50 años, esto conlleva a una depredación y agotamiento de los recursos, requiriendo mayores suministros de agua, tanto para consumo, necesidades personales y alimenticias, pues la producción de alimentos tanto para agricultura como el ganado demanda una gran cantidad de este recurso (Mays, 2012).

Tener alimentos en cantidad y calidad ha sido, es y será uno de los principales retos del hombre; en este sentido, la agricultura juega un rol fundamental como soporte en la alimentación, buscando en la medida del avance tecnológico producir más rápido, mayor volumen y mejores productos. A lo largo del tiempo se han utilizado herramientas para poder alcanzar estas metas, a partir de la década de los años 1960s llegó la llamada "Revolución verde" caracterizada por variedades de cultivos de alto rendimiento (Evenson & Gollin, 2003; Phillips, 2014), para poder mantener estos cultivos a la dinámica de producción acorde a las necesidades de la humanidad, comienza un uso intensivo, descontrolado y desregulado de agroquímicos (Phillips, 2014).

Actualmente uno de los agroquímicos más ampliamente utilizados en el mundo es el glifosato (Coupe, Kalkhoff, Capel, & Gregoire, 2012). Este es un herbicida sistémico de fácil acceso, a un precio bajo y práctico en su aplicación, que llega con relativa facilidad a los distintos cuerpos de agua y genera grandes alertas por la explotación de este recurso que va contaminado con glifosato (OECD, 2012).

A principios de los años 70s cuando se comenzó a comercializar el glifosato, se aseveraba su alta biodegradabilidad y que los daños a la salud en mamíferos, peces, aves e insectos eran nulos (Jaworski, 1972). Sin embargo, residuos de glifosato y su metabolito (ácido aminometilfosfónico, AMPA por sus siglas en inglés) han sido detectados en todos los compartimientos ambientales (Grandcoin, Piel, & Baurès, 2017), así como, en residuos biológicos y alimentos (Myers et al., 2016). Respecto a su toxicidad, estudios recientes señalan varias problemáticas en diferentes tipos de especies, por ejemplo, en exposiciones a ratas de laboratorio se han presentado alteraciones en morfología uterina (Guerrero Schimpf, Milesi, Ingaramo, Luque, & Varayoud, 2017), alteración en biomecanismos embrionarios y morfológicos en peces (Zhang et al., 2017), aumento en la mortalidad de lombrices (Stellin et al., 2018) y cangrejos (Avigliano, Alvarez, Loughlin, & Rodríguez, 2014). En humanos también se han reportado intoxicaciones agudas (Zouaoui, Dulaurent, Gaulier, Moesch, & Lachâtre, 2013) e incluso la bioacumulación en leche materna que puede ser un problema de salud pública (Bus, 2015).

El glifosato es un contaminante emergente (Stuart, M.E., Manamsa K., Talbot, J.C., Crane, 2011), es decir, es una sustancia que a pesar de haber sido detectada en el ambiente (Mörthl et al., 2013; Rendón-Von Osten & Dzul-Caamal, 2017) no es monitoreada rutinariamente, y sus efectos en la salud humana o daños ecológicos aún no son completamente elucidados (Geissen et al., 2015).

En México este contaminante emergente es mencionado en dos normas oficiales para uso y consumo de agua en humanos como un compuesto orgánico sintético no halogenado a una concentración máxima de 10 µg/L de agua (SEGOB, 2014, 2015) que, comparado con las regulaciones estadounidenses (700 µg/L) (USEPA, 2009) es un valor considerablemente bajo, pero muy elevado en cuanto a la comunidad europea (0.1 µg/L) (The Council of the European Union, 1998).

Debido a la insuficiencia de datos técnico científicos certeros para diagnosticar la problemática ambiental asociada a glifosato, es necesario implementar diversas acciones para determinar el tamaño del problema. Una línea de acción es el monitoreo de su presencia en los compartimientos ambientales, principalmente el agua, dado las características fisicoquímicas del herbicida. Por lo anterior, en este trabajo se detectará y cuantificará mediante la técnica de inmunoensayo (ELISA) la presencia del herbicida en aguas de la localidad de Tenampulco, Puebla en un periodo de un año. A partir de las

concentraciones de glifosato encontradas en Tenampulco se modelará el grado de exposición que tiene la población del municipio a este herbicida.

II. JUSTIFICACIÓN

Debido a la gran cantidad de zonas agrícolas aledañas al municipio de Tenampulco (Puebla y Veracruz) y al reporte del uso de glifosato en dichas zonas (Alcántara-de la Cruz et al., 2016), es necesario evaluar la posible exposición humana por aguas superficiales y subterráneas.

Ya que, los pozos de agua son uno de los principales medios para obtener el vital líquido y a partir de estos se distribuye para todos los diferentes usos, tanto para consumo, como para las demás actividades domésticas, agrícola y ganadera, y sabiendo que el glifosato puede persistir varios meses en aguas subterráneas (Coupe et al., 2012) es necesario estimar la distribución del glifosato en aguas del municipio de Tenampulco mediante la modelación matemática de las determinaciones espacio-tiempo, para evaluar la posible exposición que el herbicida pudiera tener sobre la población del municipio.

Existen varias metodologías para detectar y cuantificar al glifosato en agua, estas incluyen principalmente tres: 1) cromatografía de gases (Börjesson & Torstensson, 2000; Hu, Chen, & Li, 2008); 2) cromatografía de líquidos (Botero-Coy, Ibáñez, Sancho, & Hernández, 2013; Çetin, Şahan, Ülgen, & Şahin, 2017; Skeff, Recknagel, & Schulz-Bull, 2016); 3) inmunoensayo (Arul-Selvi, Sreenivasa, & Manonmani, 2011; Mörtl et al., 2013; Sanchís et al., 2012). Si bien la cromatografía de líquidos ha presentado mayor sensibilidad que las otras dos (Rubio, Veldhuis, Clegg, Fleeker, & Hall, 2003), Rubio y colaboradores (2003) mencionan que la técnica de inmunoensayo para el análisis de glifosato en agua es más fiable y con un mejor costo-eficacia con respecto a cromatografía de líquidos, Byer *et al.* (2008) reafirman el hecho de que la técnica de inmunoensayo es de bajo costo para el análisis de glifosato en agua (Byer, Struger, Klawunn, Todd, & Sverko, 2008). Para los efectos de este trabajo, los límites de detección de la técnica de inmunoensayo sirven correctamente.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Importancia del agua y la problemática de su contaminación.

El agua es uno de los principales recursos en el planeta y es utilizada en procesos de prácticamente todos los seres vivos, integrando importantes procesos naturales y antropogénicos. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2007) solo el 2.4 % del total del agua en el planeta es “dulce” y el restante es agua salina, de este porcentaje de agua dulce, el 68.7 % está en los glaciares, 30.1 % en las aguas subterráneas y el resto en aguas superficiales y atmósfera (P. S. Kumar & Pavithra, 2019). Estos datos se vuelven críticos por alteración del hombre a dicho ecosistema, pues el agua termina siendo sumidero final de los contaminantes. Se estima que la población mundial actualmente está por encima de los 7 mil millones de personas y que para el 2050 habrá 9.1 miles de millones de personas (FAO, 2011), por este tipo de situaciones los focos de alerta están encendidos dado que el agua es un componente esencial como proveedor de provisiones y por ende de la estabilidad social, económica y ambiental de cualquier región del mundo (WWAP, 2016).

La demanda y competencia de los diferentes sectores sociales por el agua ha generado una sobreexplotación y contaminación de los recursos de muchas regiones. La escasez de aguas azules, es decir, la proporción de agua subterránea consumida en comparación con el agua disponible de manera sostenible para consumo humano, sirve como índice para determinar la seguridad hídrica de una región, México es uno de los principales países con índice de escasez severa de aguas azules en el mundo, donde una quinta parte de la población en el planeta carece de agua (PNUMA, 2012). Alrededor de 1.1 billones de personas en el mundo esta limitada a agua segura o limpia para beber, esto debido a que más del 60 % de la población, vive en áreas urbanas en amplio crecimiento utilizando más agua limpia de la que se regenera (Mays, 2012), es decir el equilibrio hídrico esta desbalanceado. El 66 % del agua que se encuentra en el territorio nacional es de muy buena o excelente calidad (Morán, Escolero, & Alcocer, 2005), quedando un 33 % con agua de muy mala calidad que se incrementa a pasos acelerados conforme crece la población (OECD, 2012).

El agua en México ha adquirido una gran importancia desde principios del siglo pasado, desde la llamada revolución hídrica, esta importancia está dada principalmente

por que las actividades que se han desarrollado a lo largo de este tiempo, ya que, la inversión gubernamental en ingeniería y técnicas de construcción posibilitaron la producción de energía eléctrica y a nivel agrícola se crearon nuevas poblaciones donde se demandaba no solo tierras sino mayor cantidad de agua y de mejor calidad (Aboites-Aguilar, Birrichaga-Gardida, & Garay-Trejo, 2010). Al incrementarse las necesidades y utilización del agua se propicia una disminución y agotamiento de las fuentes de suministro y por otro lado se incrementa la contaminación en los ríos y aguas destino de los suministros utilizados, triplicándose la extracción de agua a nivel mundial durante los últimos 50 años (PNUMA, 2012).

Por lo anterior, las poblaciones han recurrido a la utilización de aguas subterráneas para solventar las necesidades de la población. En México poco es sabido sobre la calidad de aguas subterráneas, a pesar de que actualmente tres cuartas partes del total de estas aguas constituyen la fuente de abastecimiento del agua utilizable (Morán et al., 2005).

Por definición las aguas subterráneas son aguas encontradas bajo la tierra en la zona de rocas saturadas (Zoller, 1994). Extraer esta agua de las profundidades de la tierra requiere de un tipo de infraestructura, pero con la necesidad de utilizar agua “no contaminada” se ha tenido que optar por este tipo de recurso, pues la mayoría de las aguas superficiales como ríos y lagos ya no está en condiciones de utilizarse, pues la demanda es muy grande en las grandes ciudades, como Ciudad de México y Puebla, además de que actualmente tienen baja calidad por el alto contenido de contaminantes (Morán et al., 2005). Recientemente se sabe que los acuíferos de aguas subterráneas del territorio nacional están sobreexplotados y que el balance hídrico empieza a desbalancearse.

3.2. El uso de plaguicidas y su problemática con los sistemas acuíferos.

A nivel mundial y nacional la principal actividad que emplea mayor cantidad de agua es la agricultura (PNUMA, 2012), tan solo en México el 78 % del total del agua es utilizada para esta actividad (Aboites-Aguilar et al., 2010; Morán et al., 2005) y más del 40 % de esta agua es obtenida principalmente de las aguas subterráneas (FAO, 2011). Esta situación en la agricultura ha provocado nuevos procesos para que la utilización del agua sea sostenible, pero México es uno de los países más rezagados en tecnologías para

mantener un balance hídrico, pues su desempeño en la irrigación es de las más deficientes a nivel mundial (PNUMA, 2012).

Si bien la utilización del agua para la agricultura es un severo problema a nivel nacional por su deficiente manejo, otro problema es la contaminación de los acuíferos subterráneos, pues estos representan la fuente más importante de agua para beber, y que debido al abuso en el uso de plaguicidas impacta gravemente a las aguas subterráneas, incrementando el riesgo por exposición a la salud humana (Zhao & Pei, 2012).

Los plaguicidas por definición son sustancias químicas diseñadas para controlar, repeler, mitigar, matar o regular el crecimiento de organismos indeseables y dañinos para las plantas, se clasifican de acuerdo al tipo de plaga que controlan, por ejemplo: insecticidas, herbicidas, fungicidas, nematocidas y rodenticidas (Mensah, Palmer, & Odume, 2015).

El uso de plaguicidas ha ayudado a la agricultura, principalmente a nivel económico, pero ha tenido y tiene afectaciones a nivel ambiental y que además generan una problemática cada vez más grande por los nuevos potenciales de riesgo, tanto tóxicos como ecológicos (Müller, Tiktak, Dijkman, Green, & Clothier, 2014). En algunos casos los aditivos que están adicionados en las formulaciones de los plaguicidas pueden llegar a ser más tóxicos que los ingredientes activos por si solos (Székács, Mörtl, & Darvas, 2015).

Las propiedades fisicoquímicas de los plaguicidas, como su solubilidad en agua y solventes orgánicos y su capacidad de intercambio iónico, determinan su carácter para ser lixiviados hacia aguas superficiales como subterráneas (Menchen, Heras, & Alday, 2017). Otras consideraciones que deben tomarse en cuenta y que influyen en la contaminación de estos ecosistemas acuíferos son la cercanía de los campos de cultivo a los cuerpos de agua, así como el tipo de suelo, la inclinación del mismo, las características de los cuerpos de agua (superficie del agua, profundidad y flujo) y las condiciones climáticas (temperatura, humedad, viento y precipitaciones) (Ccanccapa, Masiá, Andreu, & Picó, 2016; Székács et al., 2015). En la **Figura 1** se esquematiza de manera general el ciclo de los plaguicidas.

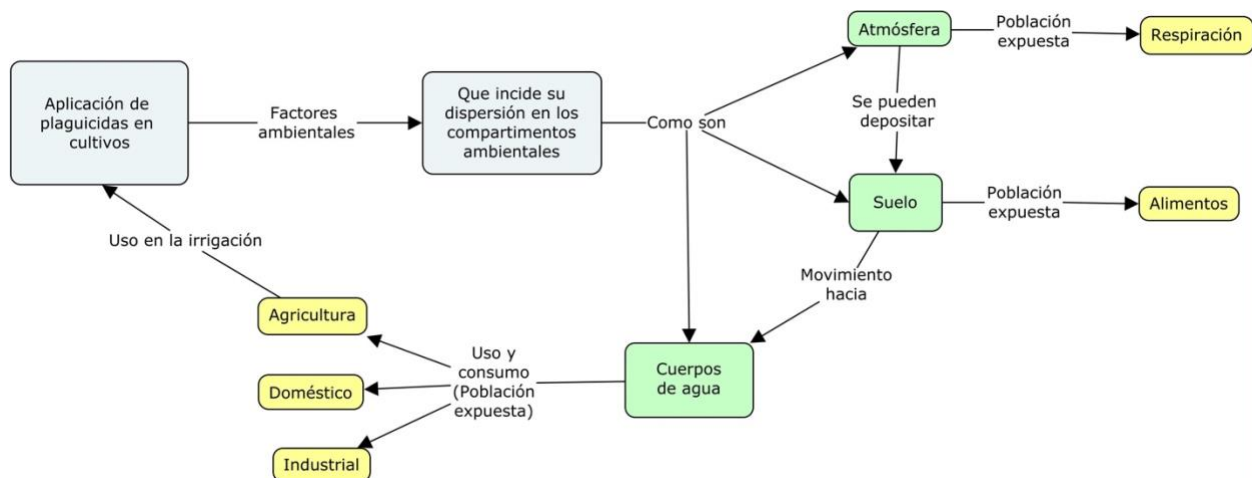


Figura 1. Esquema del ciclo de los plaguicidas (elaboración propia, 2018, con información de Burke, 2014).

La presencia de estos contaminantes no puede desestimarse pues el uso intenso y la ocupación de nuevos campos de cultivo, es decir, el cambio de uso de suelo, hace cada vez más crítica la situación, poniendo en riesgo a la salud humana y al ambiente en general (Ccanccapa et al., 2016; Menchen et al., 2017).

De los principales plaguicidas son los herbicidas, estas sustancias son usadas para eliminar hierba, maleza o plantas no deseadas de los campos de cultivo (Mensah et al., 2015). Uno de los herbicidas más ampliamente utilizados en el mundo es el glifosato (Claude et al., 2017).

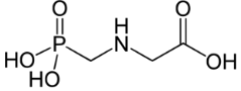
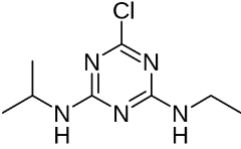
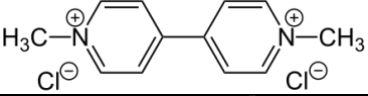
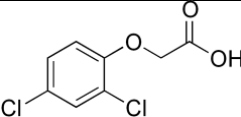
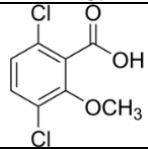
3.3. Problemática ambiental y socioeconómica asociada a glifosato.

3.3.1. Generalidades del glifosato.

El glifosato es un herbicida introducido a principios de los años 1970's por la empresa *Monsanto* con el nombre de *Roundup* (Benbrook, 2016). Inicialmente fue sintetizado en 1950 por Henri Martin para la farmacéutica suiza *Cilag*, donde se desconocía su potencial como herbicida (Székács and Darvas, 2012) por lo que hasta la adquisición de Monsanto dos décadas más tarde y con varios estudios fue que se determinó su potencial en el control del crecimiento de plantas, aplicándolo principalmente a hierba no deseada en los cultivos (Baird, Upchurch, Homesley, & Franz, 1971).

El glifosato (*N*-(fosfometil) glicina) es un derivado fosfometilado de la glicina que presenta una estructura química relativamente simple y de bajo peso molecular comparado con otros herbicidas (**Tabla 1**) (Hoagland & Duke, 1982).

Tabla 1. Estructura química y peso molecular de glifosato y de algunos de los principales herbicidas (elaboración propia, 2017).

Herbicida (peso molecular)	Estructura química
Glifosato (169.073 g/mol)	
Atrazina (215.685 g/mol)	
Paraquat (257.158 g/mol)	
ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) (221.033 g/mol)	
Dicamba (221.033 g/mol)	

Las propiedades fisicoquímicas del glifosato se enlistan en la **Tabla 2**, donde se observa que la solubilidad es relativamente elevada, lo que permite su fácil disolución en agua y pasar desde ésta, a los diferentes compartimentos ambientales (Maqueda, Undabeytia, Villaverde, & Morillo, 2017). El glifosato es una sustancia química anfotérica, es decir, que puede reaccionar como una sustancia ácida o básica (Székács et al., 2015). Su alto punto de ebullición mitiga su presencia en el aire, aunque ha sido detectado en bajas concentraciones en China (Y. Chang, Zhang, Hao, Yang, & Tang, 2016), muy probablemente debido a la forma de aplicación por aspersión. Finalmente, dependiendo del pH del medio presenta cuatro especies iónicas que interactúan de diferente manera con otras sustancias eléctricamente.

Tabla 2. Propiedades físico-químicas del glifosato.

Fórmula molecular	C ₃ H ₈ NO ₅ P (NCBI, n.d.)
Peso molecular	169.073 g/mol (NCBI, n.d.)
Número de registro CAS	1071-83-6 (NCBI, n.d.)
Nombre IUPAC	N-(phosphonomethyl)glycine (NCBI, n.d.)
Densidad a 25 °C	1.74 g/cm ³ (Von Mérey <i>et al.</i> , 2016)
Solubilidad en agua	12 g/L (Maqueda <i>et al.</i> , 2017)
Constantes de disociación	pK _{a1} 2.0, pK _{a2} 2.6, pK _{a3} 5.6 and pK _{a4} 10.6 (Coupe <i>et al.</i> , 2012)
Punto de fusión	230 °C (O'Neil, 2006)
Presión de vapor	1.31 x 10 ⁻⁵ Pa a 25 °C (Von Mérey <i>et al.</i> , 2016)
Coefficiente de partición octanol/agua (log K _{ow})	-4.59 a -1.70 (Annett <i>et al.</i> , 2014)
Fórmula molecular	C ₃ H ₈ NO ₅ P (NCBI, n.d.)

El glifosato está implicado en alteraciones bioquímicas de procesos de microorganismos y plantas, inhibiendo la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS) responsable de la biosíntesis de aminoácidos aromáticos, la disminución de dichos aminoácidos en el organismo reduce la síntesis de proteínas provocando el cese del crecimiento y por consiguiente la muerte (Alibhai & Stallings, 2001; Hoagland & Duke, 1982; Jaworski, 1972). La reacción de la enzima EPSPS cataliza la síntesis de 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato a partir del shikimato-3-fosfato y el fosfoenolpiruvato (Alibhai & Stallings, 2001; Ribeiro Marques *et al.*, 2007), penúltimo paso de la ruta del shikimato o ácido shikímico hacia la biosíntesis de los aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina y triptófano (**Figura 2**) y muchos metabolitos secundarios como el tetrahidrofolato, ubiquinona y vitamina K (Amrhein, Deus, Gehrke, & Steinrucken, 1980). Dicha ruta del EPSPS solo está presente en plantas y microorganismos, por lo que en animales como reptiles, aves, mamíferos, peces e insectos no se lleva a cabo (Jaworski, 1972).

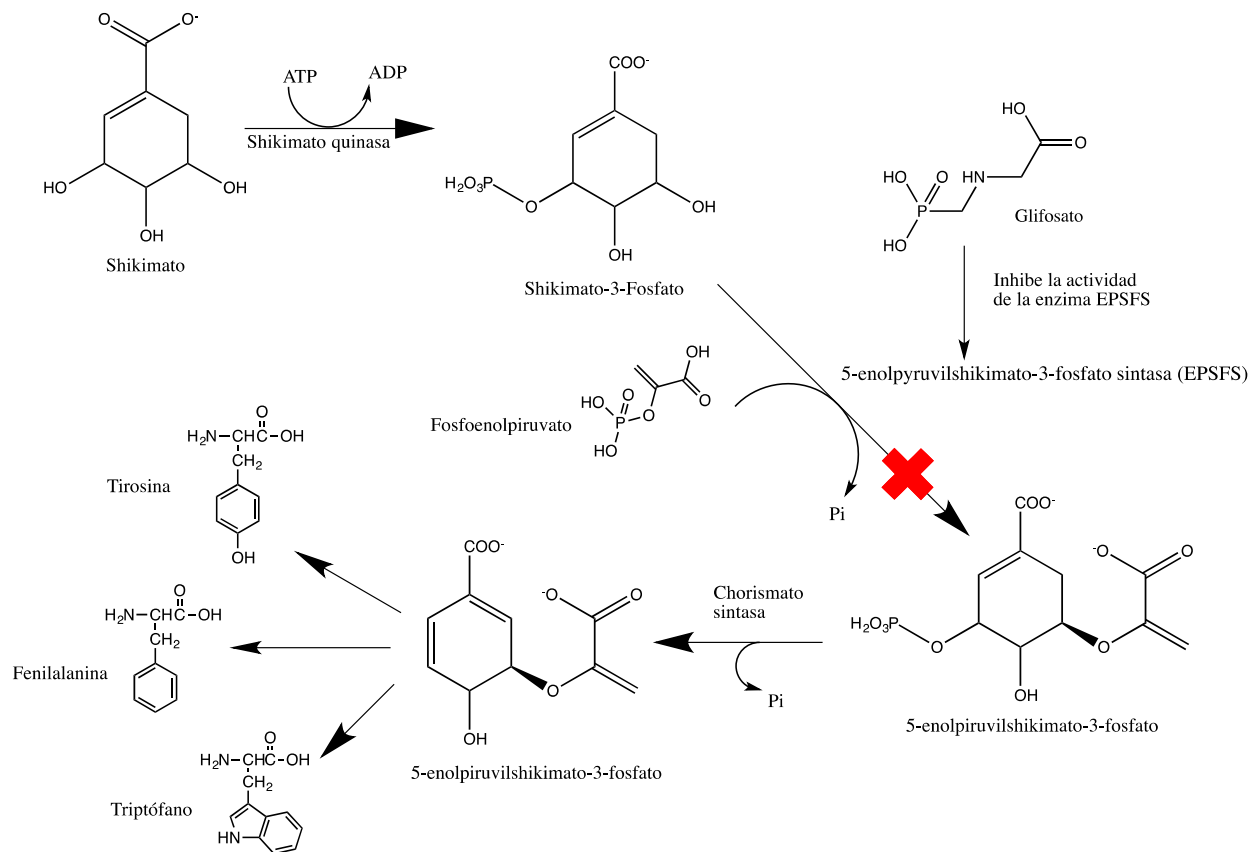


Figura 2. Ruta del shikimato para la síntesis de aminoácidos e inhibición de la enzima EPSFS (elaboración propia, 2018, con información de (Ribeiro Marques et al., 2007)).

Actualmente el glifosato es el herbicida más utilizado en el mundo (Grandcoin et al., 2017), con una producción mundial en el año 2014 de 825,000 toneladas, siendo China el principal productor (Woodburn, 2000). Por sí solo, Estados Unidos de América utilizó en 2014 para agricultura 113 millones de kilogramos como suma de todas sus formulaciones (Benbrook, 2016). En 2009 en México se consumieron aproximadamente 130 mil toneladas, equivalente a 21.6 % del total mundial utilizado, lo cual lo posiciona como uno de los países que más utiliza este herbicida a nivel mundial (Norma Julieta Salazar-López & Aldana-Madrid, 2011). Al ser el herbicida más utilizado a nivel mundial, ha desencadenado que muchas plantas generen resistencia y tolerancia (Alcántara-de la Cruz et al., 2016; Benbrook, 2016), por lo que los agricultores tienen que aumentar las concentraciones de aplicación, generando un mayor riesgo en la exposición y mayor probabilidad de ecotoxicidad, además tienen que utilizar mezclas de diferentes herbicidas en una misma aplicación, como 2,4-D y dicamba (Mortensen, Egan, Maxwell, Ryan, & Smith, 2012). La forma de aplicar glifosato en los cultivos es muy variada, por

ejemplo, en forma de sal de isopropilamina, sal de amonio, sal de diamonio, sal de dimetilamonio y sal de potasio. La principal formulación de glifosato es en forma de sal de isopropilamina, pero hay reportes del uso frecuente de todas las demás sales (Woodburn, 2000), se ha reportado que el precio promedio en México es de 14 dólares por kilogramo, que considerado con países europeos como Francia (\$41), Reino Unido (\$40) e Italia (\$37), es mucho más bajo (Woodburn, 2000).

3.3.2. Glifosato como contaminante emergente.

Los contaminantes emergentes esencialmente son sustancias químicas que no están reguladas, y su presencia en el medio ambiente no se considera significativa en términos de distribución y concentración (Becerril, 2009; Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012), no están incluidas en programas de monitoreo rutinario a nivel nacional o internacional (Geissen et al., 2015). Sin embargo, dado que muchos son sustancias con actividad biológica como fármacos y plaguicidas, su presencia, distribución, destino y efecto en el ambiente y salud de los seres vivos deben ser estudiada. La red de laboratorios de referencia, centros de investigación y organismos relacionados para el monitoreo de sustancias ambientales emergentes (NORMAN network), dice que estas sustancias no necesariamente son sustancias químicas nuevas. Dicha red establece una lista de más de 700 contaminantes emergentes, en donde incluye al glifosato como un contaminante emergente, la última actualización de esta lista fue publicada en 2016 (NORMAN, 2016; Stuart, M.E., Manamsa K., Talbot, J.C., Crane, 2011).

3.3.3. Distribución y persistencia del glifosato en suelo y cuerpos de agua.

La aplicación del glifosato se realiza en campo en altas concentraciones (4 kg/ha) mediante la técnica de aspersion (Silva et al., 2018), por consiguiente una alta cantidad se deposita directamente al suelo (Grandcoin et al., 2017; Mamy & Barriuso, 2005). En el suelo, tendrá principalmente 3 procesos: adsorción, transporte y degradación (**Figura 3**) (Burke & Bell, 2014). La dispersión hacia otros compartimentos ambientales (agua, plantas y atmósfera) y el destino final del glifosato dependerá principalmente de su comportamiento en el suelo (Mamy & Barriuso, 2005).

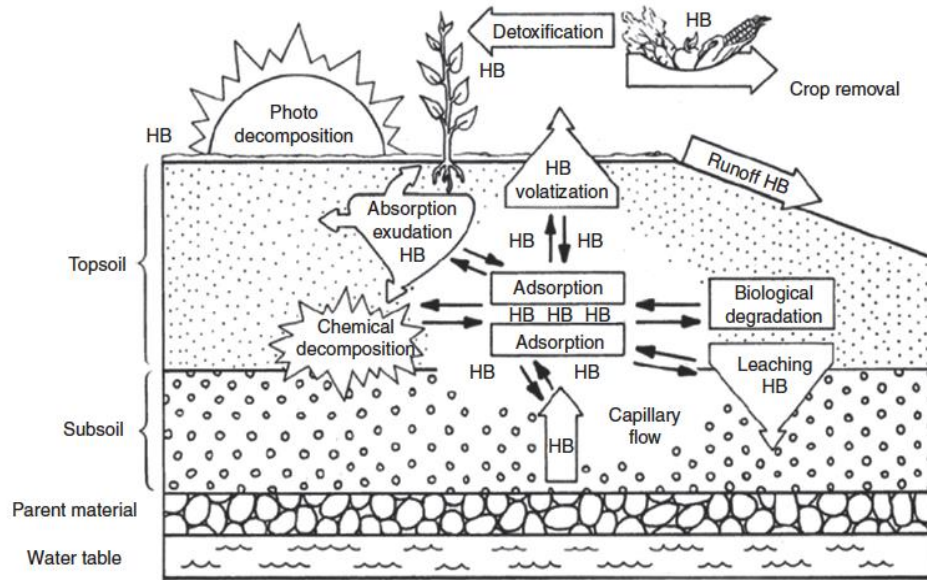


Figura 3. Procesos que determinan el destino de herbicidas (HB) en suelo (tomada de (Burke & Bell, 2014)).

El glifosato es un compuesto polar que puede unirse fuertemente a suelos donde haya cargas polares o eléctricamente cargadas como las arcillas, su tiempo de vida en suelo va de 2 a 215 días (Maqueda et al., 2017). Es un ácido poliprótico que puede formar aniones mono-, di-, tri- y tetravalentes (**Figura 4**) con alta afinidad por cationes trivalentes como Al^{3+} y Fe^{3+} (Coupe et al., 2012). Es adsorbido mayormente en superficies de carga variable y menormente en superficies de carga permanente (como los silicatos), donde el efecto del pH sobre la adsorción del glifosato en el suelo es crucial, reportándose mayor adsorción a suelos ácidos por debajo de un pH de 5 (Maqueda et al., 2017).

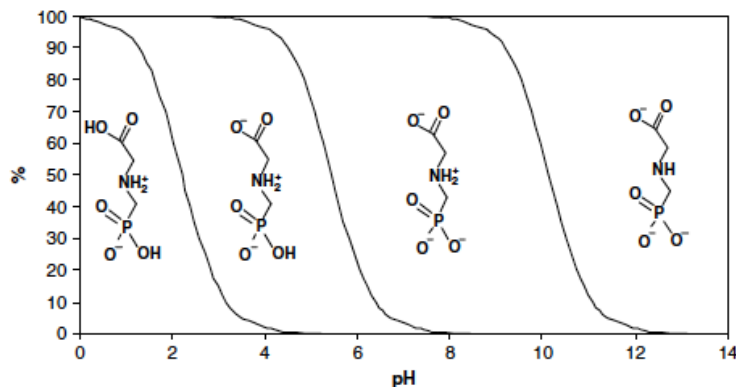


Figura 4. Distribución de las especies de glifosato en función de su pH (tomada de (Borggaard & Gimsing, 2008)).

El glifosato presenta resistencia a la descomposición térmica, a la hidrólisis química e incluso a la fotólisis (Grandcoin et al., 2017), por lo que su degradación en suelo, agua y sedimentos solo es posible por vía biológica (von Mérey, Manson, Mehrsheikh, Sutton, & Levine, 2016).

El glifosato puede degradarse completamente hasta la formación de CO₂; sin embargo, frecuentemente es detectado el metabolito ácido aminometilfosfonico (AMPA, por sus siglas en inglés) y sarcosina (Borggaard & Gimsing, 2008; Grandcoin et al., 2017), siendo el AMPA el principal metabolito en suelo y cuerpos de agua (**Figura 5**) (von Mérey et al., 2016).

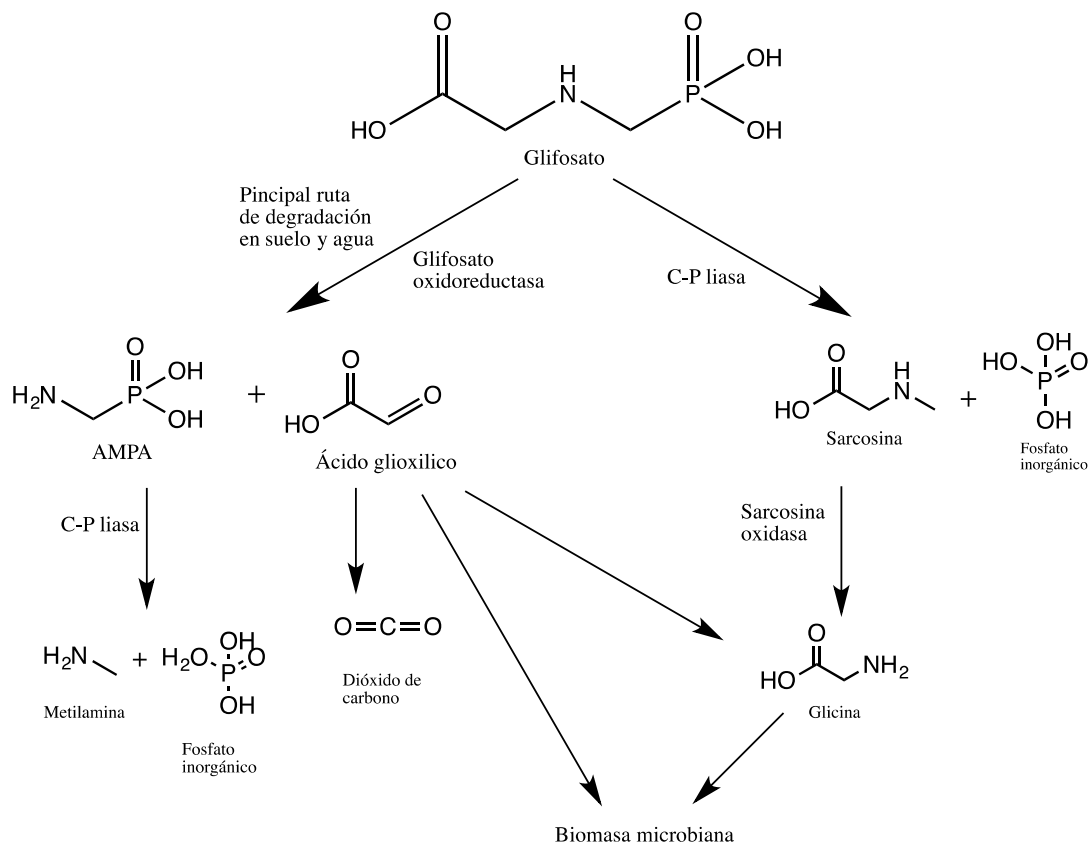


Figura 5. Ruta de degradación de glifosato en el ambiente (elaboración propia, 2017, con información de (Annetta, Habib, & Hontelaa, 2014; Grandcoin et al., 2017)).

AMPA al igual que glifosato tiene una gran capacidad para ser adsorbido en el suelo, incluso es más persistente (de 76 a 240 días) y con muy bajas probabilidades de ser degradado biológicamente (Coupe et al., 2012; Grunewald, Schmidt, Unger, & Hanschmann, 2001).

Dependiendo de las características fisicoquímicas del suelo, el glifosato puede o no tener posibilidades de ser lixiviado hacia las aguas superficiales y subterráneas o ser biodegradado en suelo. Otro factor determinante en la movilidad de glifosato es la competencia con el fosfato, ya que, en suelos fertilizados con este nutriente para las plantas, se va a favorecer el transporte del herbicida hacia el agua (**Figura 6**) (Gimsing, Borggaard, & Bang, 2004).

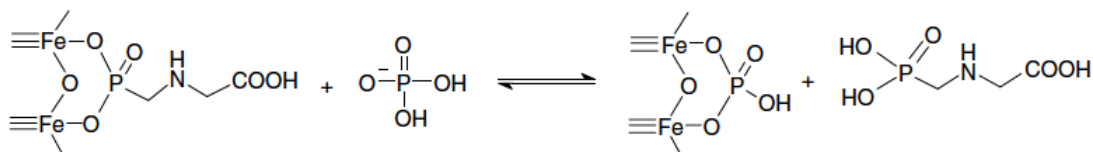


Figura 6. Esquema de la adsorción competitiva del glifosato y fosfato (tomada de (Borggaard & Gimsing, 2008)).

Si bien el glifosato y AMPA tienen un bajo potencial para moverse en suelo (Mamy & Barriuso, 2005), el transporte hacia ambientes acuáticos ocurre en solución y en suspensión, principalmente a través de macroporos (bioporos y fisuras entre los agregados del suelo) (Borggaard & Gimsing, 2008; Guillén et al., 2013).

La alta solubilidad en agua (**Tabla 2**) ayuda al transporte, principalmente por el agua proveniente de la irrigación y las precipitaciones en la zona donde se aplique el herbicida (Norma J Salazar-López et al., 2016).

Los principales factores que afectan la degradación y disipación del glifosato en agua son en orden de importancia: la actividad microbiana, temperatura y fotólisis, esta última mucho menor que las dos anteriores, otro factor de suma importancia es la complejidad de la matriz del agua, ya que, al ser esta matriz muy compleja la tasa de degradación disminuirá (Grandcoin et al., 2017; Maqueda et al., 2017). El tiempo de vida media en agua va de los 7 a los 142 días (Annetta et al., 2014; Coupe et al., 2012), pero otros estudios han reportado que el glifosato puede persistir hasta 503 días en aguas subterráneas (Van Stempvoort et al., 2016).

Actualmente hay algunos reportes sobre la presencia de glifosato en agua a nivel mundial (**Tabla 3**).

Tabla 3. Concentraciones máximas de glifosato encontradas en agua de diferentes partes del mundo (datos tomados de (Rendón-Von Osten & Dzul-Caamal, 2017; Van Stempvoort et al., 2016)).

País	Concentración (µg/L)
México (Campeche)	1.70
México (Chiapas)	18.43
Belice	1.70
Hungría	0.79
España	2.50
Suecia	1.40
Dinamarca	0.90
E. U. A.	2.00
Canadá	0.05

En México solo hay un par de estudios donde se determinó la presencia de glifosato en agua (Rendón-Von Osten & Dzul-Caamal, 2017; Ruiz-Toledo, Castro, Rivero-Pérez, Bello-Mendoza, & Sánchez, 2014). La presencia de glifosato en estos lugares es principalmente por el uso intensivo del herbicida.

3.3.4. Exposición y Toxicidad.

Desde su introducción en los años 1970's, se argumentaba que el glifosato no tenía efectos dañinos en animales (Jaworski, 1972), pues su modo de acción solo afecta a algunos microorganismos y a las plantas (Hoagland & Duke, 1982; Kishore & Shah, 1988), por lo que, mamíferos, peces, aves y reptiles no se verían afectados por el herbicida (Alibhai & Stallings, 2001). Actualmente existe la controversia de que si el herbicida puede o no ser carcinogénico, ya que, el Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), centro especializado sobre el cáncer de la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo clasifica dentro de la categoría 2A, como posible carcinogénico para humanos (IARC, 2015), pero la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, por sus siglas en inglés) lanzó un documento (EFSA, 2015) donde a partir de un análisis bibliográfico evalúa el efecto del Glifosato como herbicida sobre todos los cultivos emergentes anuales, perenes y bianuales. EFSA concluye que "es improbable que el glifosato represente un peligro carcinogénico para los humanos, ya que, la evidencia no soporta la clasificación actual" (EFSA, 2015), donde IARC dice que

“hay evidencia convincente de que glifosato puede causar cáncer en animales de laboratorio” (IARC, 2015).

El Comité de Aseguramiento de Riesgos (RAC, por sus siglas en inglés) de la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA, por sus siglas en inglés), publicó un comunicado el 15 de marzo del 2017 (ECHA, 2017), en el cual, a partir de evidencia científica, concluían que no hay criterio correcto para clasificar al glifosato como una sustancia que puede ser carcinogénica, mutagénica o con toxicidad reproductiva, pero exhortó a mantener la clasificación de que es una sustancia que puede causar serios daños en los ojos por su exposición y llegar a ser tóxica para los ecosistemas acuáticos. Es importante mencionar que la opinión de ECHA está basada únicamente en las evaluaciones de la peligrosidad de las propiedades del glifosato, pero no enfoca estos niveles de peligrosidad en los diferentes compartimentos ambientales, como son los ecosistemas acuáticos, terrestres y atmosféricos, o la probabilidad de exposición y riesgos asociados para los humanos y vida salvaje (Silva et al., 2018).

La calidad del agua puede verse reducida por contaminación del glifosato, además de diversas funciones en los ecosistemas, principalmente por la reducción de la diversidad de las especies, modificación de la cadena alimenticia, alteración de patrones del flujo de energía y recirculación de nutrientes, dificultando la resiliencia de los ecosistemas (Mensah et al., 2015).

Myers y colaboradores (2016) en su trabajo de revisión, indican que en humanos y animales de laboratorio existe un riesgo asociado con la exposición.

Exposición se entiende como el proceso en que el glifosato puede entrar en contacto para ser introducido y/o absorbido por la población ya sea por vía inhalatoria, cutánea o digestiva. Es importante señalar que toxicidad no es sinónimo de exposición, pues la primera se refiere al hecho que una vez dentro del organismo, una sustancia química actúa específicamente sobre el sistema biológico provocando alteraciones, ya sea morfológicas y/o funcionales. Es importante destacar la diferencia entre riesgo y exposición, pues riesgo está asociado a la probabilidad de que ocurra un evento o en este caso una respuesta negativa por parte del individuo, es decir, existe una amenaza, y exposición está relacionado con la ubicación o posición del organismo, de manera negativa, es decir una desventaja, propenso a un riesgo (Connolly et al., 2017; Echemendía-Tocabens, 2011; SEGOB, 2012; Torretta, Katsoyiannis, Viotti, & Rada, 2018).

Estudios sobre exposición de las formulaciones basadas en glifosato en diversos organismos revelan que existe riesgo ecotoxicológico y en humanos. Algunos resultados de los estudios son: malformaciones craneofaciales y defectos neuronales en ranas (18 µg/L) (Paganelli, Gnazzo, Acosta, Lo, & Carrasco, 2010), alteraciones morfológicas y de fertilidad en ratas (700 µg/L) (Guerrero Schimpf et al., 2017; Larsen et al., 2014), en peces se observaron alteraciones morfológicas y biomecanismos (30 µg/L) (Fan, Geng, Ren, Wang, & Han, 2013; Zhang et al., 2017). En humanos hay varios estudios al respecto, los cuales han reportado: efectos tóxicos y disrupción endócrina (700 mg/L) (Gasnier et al., 2009; Richard, Moslemi, Sipahutar, Benachour, & Seralini, 2005), incrementa el riesgo de cáncer de mama (1 µg/L) (Thongprakaisang, Thiantanawat, Rangkadilok, Suriyo, & Satayavivad, 2013). En la **Tabla 4** se muestra un resumen realizado por Schuette (1998) con la dosis letal 50 (LD50) de diferentes organismos. Si bien la LD50 en ratas de laboratorio para glifosato esta clasificado como ligeramente peligroso y solo se recomienda cierta precaución (Machado & Martins, 2018) y comparado con otros plaguicidas ampliamente utilizados (paratión 2-13 mg/kg y oxifluorfen 5.6 mg/kg) es menor (Ibrahim & Sayed, 2019; Jana et al., 2015), no deja de llamar la atención el impacto que puede tener en algunos organismos como las abejas y en los ecosistemas la presencia de este herbicida (Morgana et al., 2019).

Tabla 4. Dosis letal 50 (LD50) de glifosato en algunos animales (Tomado de (Schuette, 1998)).

LD50 de Glifosato	
Ratas (oral)	4320 mg/kg
Patos (8 días)	4640 mg/kg
Codorniz (8 días)	4640 mg/kg
Pez sol (96 horas)	78 mg/kg
Trucha arcoiris (96 horas)	38 mg/kg
<i>Daphnia magna</i> (48 horas)	930 mg/kg
Abeja	100 µg/abeja

Recientemente se ha encontrado que los aditivos (surfactantes) que están contenidos en la formulación comercial con glifosato son más tóxicos que el propio

ingrediente activo (Borggaard & Gimsing, 2008; Mensah et al., 2015). Aunque otros autores como Paganelli *et al.* (2010) señalan que el glifosato es el responsable de las alteraciones toxicológicas por la exposición y no el surfactante u otro componente de la formulación comercial.

A partir de los datos bibliográficos mencionados anteriormente y los valores de las regulaciones internacionales y mexicanas (ver **apartado 3.3.6** marco legal) se establece, en la **Tabla 5**, el perfil de concentraciones para determinar el grado de exposición a glifosato en agua.

Tabla 5. Perfil de concentraciones del grado de exposición de glifosato (elaboración propia 2019).

Nivel de exposición	Intervalo de concentraciones de glifosato en agua ($\mu\text{g/L}$)
Bajo	< 0.10
Leve	0.11 - 0.99
Moderado	1.00 - 4.99
Alto	5.00 - 9.99
Severo	> 10

3.3.5. Métodos de detección.

Existen varias metodologías para determinar el glifosato en agua, estas incluyen: método colorimétrico (Y. Chang et al., 2016), electroquímico (Bataller et al., 2012; Bettazzi, Romero Natale, Torres, & Palchetti, 2018), espectrofotométrico (Ehling & Reddy, 2015), inmunoensayo (Mörthl et al., 2013), cromatografía de líquidos (CL) (Sanchís et al., 2012; Silva et al., 2018) y cromatografía de gases (CG) (Hu et al., 2008). Si bien, todos estos métodos han demostrado ser eficientes para su propósito, los más utilizados son los tres últimos. En un estudio realizado por Alexa y colaboradores (2008) compararon las técnicas de CL con la CG, determinando que la CL tiene una mayor sensibilidad (0.03 $\mu\text{g/mL}$).

Actualmente las dos técnicas más populares son la CL y el inmunoensayo (inmunoabsorción ligado a enzimas, ELISA por sus siglas en inglés) (Byer et al., 2008; Grimalt & Dehouck, 2016). Rubio y colaboradores (2003) compararon estas dos técnicas concluyendo que la técnica de ELISA para el análisis de glifosato en agua es más fiable y con un mejor costo-eficacia con respecto a la CL.

En la **Tabla 6** se muestran diferentes ejemplos en los que se han aplicado métodos inmunoquímicos en el ambiente para glifosato.

Tabla 6. Ejemplos en los que se han aplicado métodos inmunoquímicos en el ambiente para glifosato.

Tipo de aplicación	Concentración detectada (µg/L)
Tejidos de plantas (Duo Wang, Lin, Cao, Guo, & Yu, 2016)	0.01 – 8
Agua subterránea (Sanchís et al., 2012)	0.2 (promedio)
Cuerpos de agua (Mörthl et al., 2013)	0.00054–0.00076
Muestras de comida (Arul-Selvi et al., 2011)	0.002 – 0.25

Como puede observarse los métodos de detección actuales resultan adecuados para determinar o monitorear la presencia de glifosato en las diferentes matrices ambientales y biológicas o de alimentos; sin embargo, la insuficiencia de programas de monitoreo no permite conocer o cuantificar el tamaño del problema generado por el herbicida.

3.3.6. Marco legal.

De acuerdo al reglamento de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) en su artículo tercero, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 13 de abril del 2004, esta comisión federal (COFEPRIS) tiene a su cargo la atribución de ejercer la regulación, control, vigilancia y fomento sanitario de los plaguicidas (SEGOB, 2004).

Como se mencionó anteriormente, hay una controversia en la región del continente europeo por si considerar al glifosato como carcinogénico, esta discusión es de suma importancia en todas las regiones del mundo, pues de esto dependerá si la OMS lo mantienen en el grupo 2A como posible carcinogénico (Bus, 2017).

En el catálogo de plaguicidas publicado en la página oficial de COFEPRIS (2016) el glifosato es clasificado como fosfometilglicina (organofosforado) ligeramente tóxico y no carcinogénico (COFEPRIS, 2016).

A partir del 2015 se lanzaron dos proposiciones (Senado de la República 2015, Senado de la República, 2016) por parte de la senadora Ana Gabriela Guevara para exhortar a las diversas entidades estatales a emitir información sobre el herbicida

Glifosato. En estos documentos se hace referencia a investigaciones en los que se estudia el daño toxicológico que genera el herbicida sobre diferentes organismos. Por lo que el senado exhortó a la Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH) a emitir una postura al respecto, a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) para generar un informe del uso histórico y actual del uso del glifosato en los cultivos mexicanos; y finalmente a la Secretaría de Salud y a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a emitir un informe sobre los usos, las investigaciones de sustento y de toxicidad, la reglamentación y las recomendaciones sobre el herbicida. En 2017 el Senado de la República exhorta a la Secretaría de Salud a generar mecanismos institucionales para se realicen informaciones e investigaciones gubernamentales que arrojen diagnósticos pertinentes sobre la presunta toxicidad del herbicida llamado glifosato (Senado de la República, 2017).

Actualmente el glifosato está presente en dos Normas Oficiales Mexicanas (SEGOB, 2014, 2015) donde se establece los límites máximos permisibles para el uso y consumo de agua, por un lado, la NOM-250-SSA1-2014 establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados y por otro lado la NOM-201-SSA1-2015 que establece los límites máximos permisibles de agua y hielo para consumo humano. En ambos documentos se establece al glifosato como un compuesto orgánico sintético no halogenado, con un límite máximo permitido de 10 µg/L.

En la **Tabla 7** se comparan las concentraciones máximas permitidas en agua en México, la Unión Europea, Canada y los Estados Unidos de América (EUA).

Tabal 7. Límites máximos permitidos de glifosato en agua.

Región	Valores máximos permitidos (µg/L)
México (SEGOB, 2015)	10
Unión Europea (The Council of the European Union, 1998)	0.1
EUA (USEPA, 2009)	700
Canada (Health Canada, 1995)	280

Cómo puede verse, hay una disparidad pronunciada entre los valores permisibles de las diferentes regiones; lo más importante a destacar es que aún con los límites

establecidos no existe en México un programa de monitoreo o un diagnóstico de la presencia y posible impacto ambiental y la salud humana del herbicida glifosato.

3.4. Modelación de la exposición.

Aunque los datos del monitoreo en campo proveen un estimado directo de la concentración del glifosato en agua en un tiempo y ubicación en particular, estos datos no proveen estimaciones fiables para la evaluación de la exposición, porque las muestras pueden no estar cuando y donde las altas concentraciones del glifosato son encontradas.

Para la evaluación de la exposición del agua para beber y los diferentes medios acuáticos generalmente se recurre a modelos matemáticos para generar una estimación de la exposición. Estos modelos calculan las Concentraciones Ambientales Estimadas (EEC, por sus siglas en inglés) usando datos de laboratorio que describen que tan rápido los herbicidas se desintegran en otros compuestos químicos y como estos se mueven en el ambiente. Los modelos pueden estimar concentraciones en largos periodos de tiempo y las principales áreas vulnerables donde la exposición puede ser mayor. La modelación también puede ser usada para comparar concentraciones estimadas con datos de toxicidad para determinar el riesgo que el glifosato posee tanto para el agua para beber como en los diferentes sistemas acuáticos (Guillén et al., 2013). Otro beneficio de la modelación es la determinación de cómo varias prácticas de mitigación afectan la concentración de los plaguicidas en las aguas (USEPA, 2017).

Las concentraciones que se pueden pronosticar con la modelación no remplazan a las mediciones y estas pueden ayudar como parte del programa de monitoreo, ya que los programas de monitoreo pueden llegar a consumir mucho tiempo, recursos y dinero, debido a la frecuencia, materiales y personal que utilizan (Guillén et al., 2013).

Los modelos computacionales de la exposición tradicional no llegan a la complejidad del entorno real, por lo que es necesario tomar en cuenta factores sociales que ayuden a comprender, valorar y relacionar el uso y gestión que se les da a las matrices a las que está expuesta la población, en este caso, el recurso hídrico (Guillén et al., 2013). Una de las herramientas para evaluar es el de la lógica difusa, la cual consiste en aproximarse de manera razonada a lo incierto o vago de lo que se estudia, es decir, los datos de exposición en agua no tienen fronteras definidas, tomando en cuenta el contexto global de la región, solo con las mediciones en campo (USEPA, 2017). Una de las fuentes

de incertidumbre son las características propias del mundo real y su complejidad en sus interacciones, como es en gran medida actividades y pensamiento de la población (D'Negri & De Vito, 2006). Con la lógica difusa también se puede realizar una reformulación con ayuda de los saberes y comportamientos de la población (Arroyo, 2017). Dado que existen valores de la presencia de glifosato en agua, hay una cierta vaguedad e incertidumbre de la cantidad de contaminante al que esta expuesta la población, principalmente por ingestión, con respecto al uso y manejo que se le da al recurso. En este contexto, la lógica difusa ha crecido en interés y aplicación en la evaluación de fenómenos y problemáticas sociales promoviendo una comprensión abstracta y con instrumentos analíticos que reducen la incertidumbre y vaguedad, pues si bien la complejidad del fenómeno de la presencia del glifosato no radica únicamente en la exposición por su presencia y distribución, sino también en como se observe y determinen los hábitos y gestiones de la población (Arroyo, 2017; Flores Payán & Camarena Luhrs, 2013).

La lógica difusa permite representar el conocimiento común, descrito anteriormente, este conocimiento es mayormente de tipo lingüístico cualitativo y no necesariamente cuantitativo, en un lenguaje matemático a través de la teoría de conjuntos difusos y funciones características asociadas a ellos, estos conjuntos difusos combinan variables de entrada por medio de grupos de reglas (función de pertenencia) que generan variables de salida (Gómez, 1998). En la lógica clásica se partía de funciones de pertenencia muy rigurosas, por ejemplo el caso de la temperatura *alta* y *baja*, si estableciéramos con la lógica clásica que 40 °C es una temperatura “alta” todas las temperaturas que estén por debajo serán temperaturas “bajas”, es decir que si se tiene una temperatura de 29 °C será tratada conforme a una temperatura “baja”, aquí la lógica difusa juega un papel diferente pues utiliza herramientas para tratar la o las transiciones de manera más suaves, para un mejor entendimiento de la realidad.

Así estas herramientas de la lógica difusa las podemos expresar de la siguiente manera:

Un conjunto difuso A se define como una función de pertenencia de los elementos de un dominio de discurso X con elementos del intervalo, $[0,1]$, esto se expresa de la siguiente manera:

$$A: X \rightarrow [0,1]$$

Cuanto mas cerca este A del valor de 1, mayor será la pertenencia de X al conjunto de A .

En la función de pertenencia un conjunto difuso A puede presentarse gráficamente como una función, especialmente cuando el dominio de discurso X es continuo. En la **Figura 7** puede ejemplificarse lo anterior, tomando el concepto de temperatura “alta”, en ella se observa que en el eje de las abscisas se coloca el valor del dominio de discurso X , que en este caso es la temperatura y en el eje de las ordenadas los grados de pertenencia en el intervalo $[0,1]$.

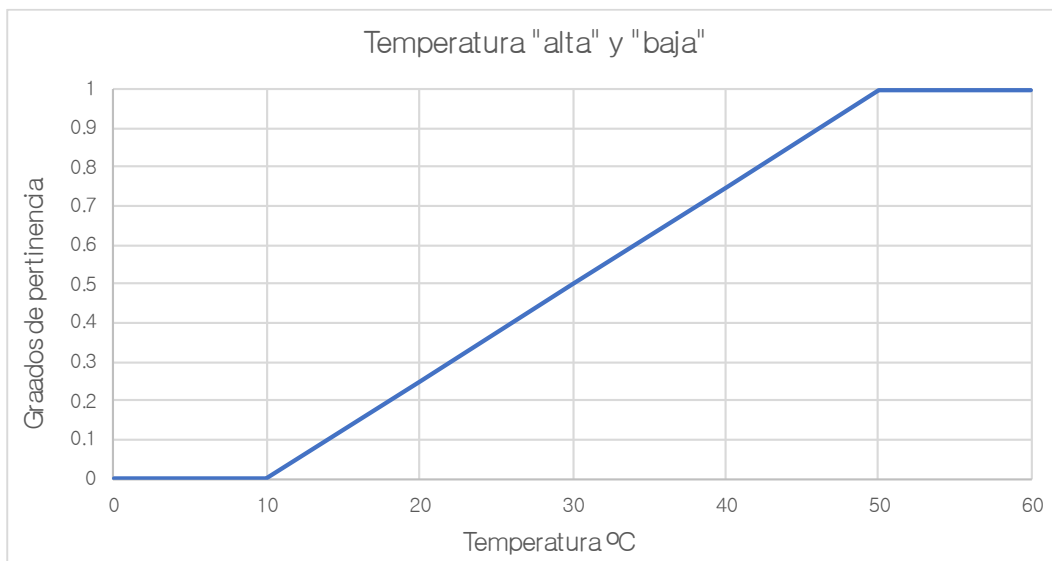


Figura 7. Gráfico de la función de pertenencia del concepto de temperatura “alta” (elaboración).

En el ejemplo anterior de temperatura, se pueden establecer el conjunto difuso mostrado en la **Tabla 8**.

Para la función de pertenencia de este ejemplo, se establece la siguiente ecuación:

$$A = 1 \text{ si } X \geq 50, A(40) = 0.75, A(30) = 0.5, A(20) = 0.25, A = 0 \text{ si } X \leq 10$$

Tabla 8. Valores del grado de pertenencia para ejemplo de temperatura “alta” y “baja” (elaboración propia, 2019)

Temperatura	Grados de pertenencia
0	0

10	0
20	0.25
30	0.5
40	0.75
50	1
60	1

Así para esta investigación, la exposición al glifosato en agua contaminada, depende del manejo, uso y consumo que realice la población; estos serán los conjuntos difusos de entrada en el modelo y finalmente, los niveles del perfil de exposición y las concentraciones de glifosato en aguas de la localidad de Tenampulco son la base para la elaboración de las reglas de pertenencia.

IV. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.

¿Cuál es la distribución de glifosato en tiempo y espacio en las aguas de la localidad de Tenampulco?

¿Cuáles son los niveles de exposición a glifosato en agua contaminada en la población de la localidad de Tenampulco?

V. HIPÓTESIS.

El glifosato se encuentra presente y distribuido en las aguas de Tenampulco, en concentraciones que representan un alto grado de exposición en la población de la localidad.

VI. OBJETIVOS.

6.1. Objetivo general.

Evaluar la incidencia espacio-temporal del glifosato en agua subterránea y superficial de la localidad de Tenampulco para modelar el grado de exposición humana.

6.2. Objetivos particulares.

- Determinar mediante inmunoensayo la presencia, distribución y concentración de glifosato en aguas subterránea y superficial de la localidad de Tenampulco, Puebla.
- Documentar las condiciones ambientales que favorecen la presencia y distribución del glifosato en agua.
- Documentar las actividades socioeconómicas relacionadas al uso del agua en la localidad de Tenampulco.
- Modelar matemáticamente el grado de exposición a glifosato de la población de la localidad de Tenampulco.

VII. DISEÑO EXPERIMENTAL.

7.1. Zona de estudio: Localidad de Tenampulco, Puebla.

La localidad de Tenampulco se localiza dentro del municipio de Tenampulco ubicado en la región II de la sierra nororiental de Puebla. Sus coordenadas son los paralelos 10° 08' 30" y 20° 14' 54" de latitud Norte y los meridianos 97° 20' 00" y 97° 30' 00" de longitud Occidental (INAFED, 2015). Tiene una superficie de 140.23 kilómetros cuadrados y Cuenta con una población de poco menos de 1100 habitantes equivalente a 15.8 % del total del municipio y 0.02% del estado de Puebla (INEGI, 2017).

El clima presente en la localidad es cálido húmedo, con una temperatura anual promedio mayor a 24 °C y precipitaciones superiores a los 2000 mm anuales (INEGI, 2016). La vegetación representativa en la localidad es selva alta perennifolia (SEMARNAT-CONAFOR, 2013).

Tenampulco es de los municipios de Puebla con menor número de habitantes con acceso a agua entubada (32.91 % de la población total del municipio), el 95.23 % obtiene el agua principalmente de pozos, el 66 % de la población trabaja en el sector agropecuario, siendo la agricultura la principal actividad en la localidad (INEGI, 2017).

El suelo principal en la localidad es el regosol (**Figura 8**) que se caracterizan por ser suelos de bajo contenido de arcilla y materia orgánica, siendo delgados y poco evolucionados favoreciendo el transporte del herbicida glifosato hacia los distintos cuerpos de agua (INEGI, mapa digital de México, 2017).

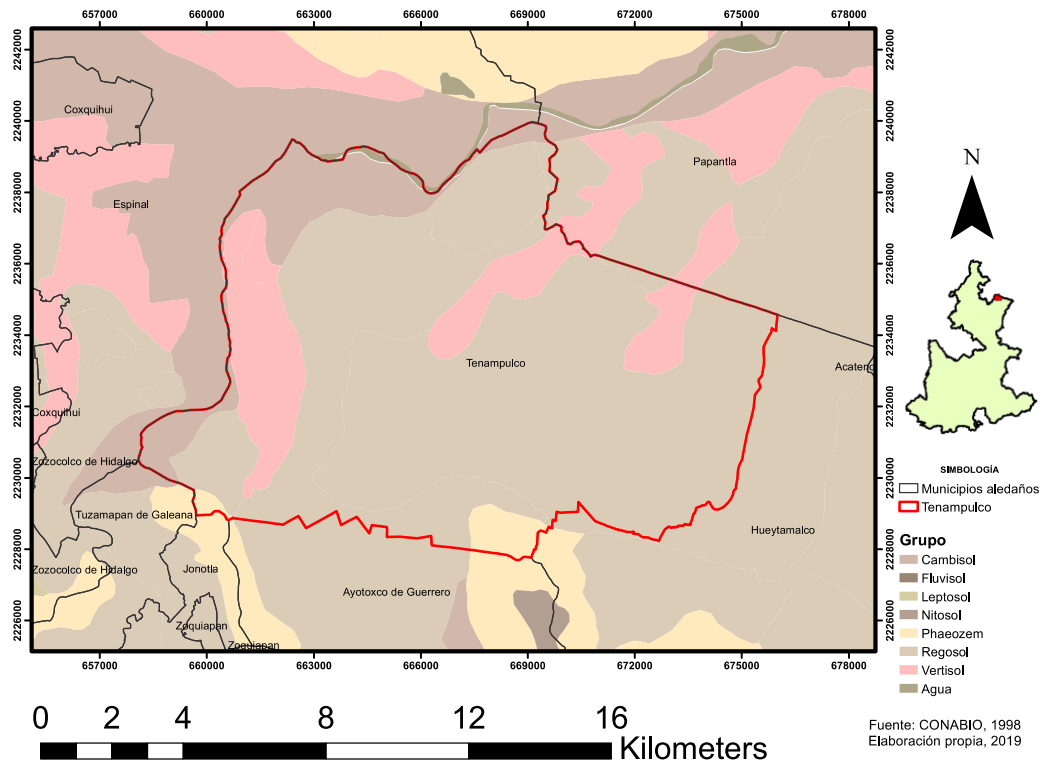


Figura 8. Tipos de suelos en el municipio de Tenampulco, Puebla (Mapa digital INEGI, 2017).

7.2. Materiales y metodología de la investigación.

7.2.1. Fase de campo.

Para determinar la contaminación de las aguas de la localidad de Tenampulco y el grado de exposición al glifosato en la población se analizaron muestras de agua de la localidad en diferentes temporadas del año. Se realizaron tres etapas (primavera 2018, verano 2018 e invierno 2018) en sitios de muestro determinados de acuerdo al análisis recomendado por el Dr. Delfino Reyes quien trabaja en la zona; la toma de muestra y análisis se basó en los cuerpos de agua donde la población tenga acceso. Se realizaron encuestas a personajes claves del municipio para determinar el uso y manejo del glifosato y del agua contaminada y su contribución en la exposición en la población de Tenampulco.

7.2.1.1. Muestreos de campo.

Los muestreos se realizaron de acuerdo a lo descrito en el Apéndice C normativo “Procedimientos para la toma de muestras” del proyecto de norma NOM-250-SSA1-2014 “Agua para uso y consumo humano. Límites máximos permisibles de la calidad del agua

y requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados, su control y vigilancia. Procedimiento sanitario de muestreo” (SEGOB, 2014).

Por cada etapa de muestreo se obtuvieron 12 muestras en 10 puntos de muestro diferentes (Tabla 9; Figura 9).

Tabla 9. Identificación de los puntos de muestreo.

Número de muestra	Nombre	Tipo de agua	Coordenadas	Altura
1	Purificadora	Subterránea	X 667979	180 m
2		Embotellada	Y 2231562	
3	El caminito	Superficial	X 669131 Y 2232831	154 m
4	Pozo PEMEX	Superficial	X 669314	154 m
5		Superficial	Y 2232965	
6	Caracoles	Escorrentía	X 669611 Y 2233289	152 m
7	Caracoles (estanques)	Superficial	X 669912 Y 2233620	147 m
8	Don Lencho	Superficial	X 670052 Y 2233514	166 m
9	Don Ángel	Subterránea	X 670054 Y 2233514	210 m
10	Tenampulco Viejo	Superficial	X 670929 Y 2235383	93 m
11	Saltillo	Superficial	X 667930 Y 2233660	199 m
12	Saltillo (Tepetate)	Subterránea	X 667223 Y 2232713	161 m

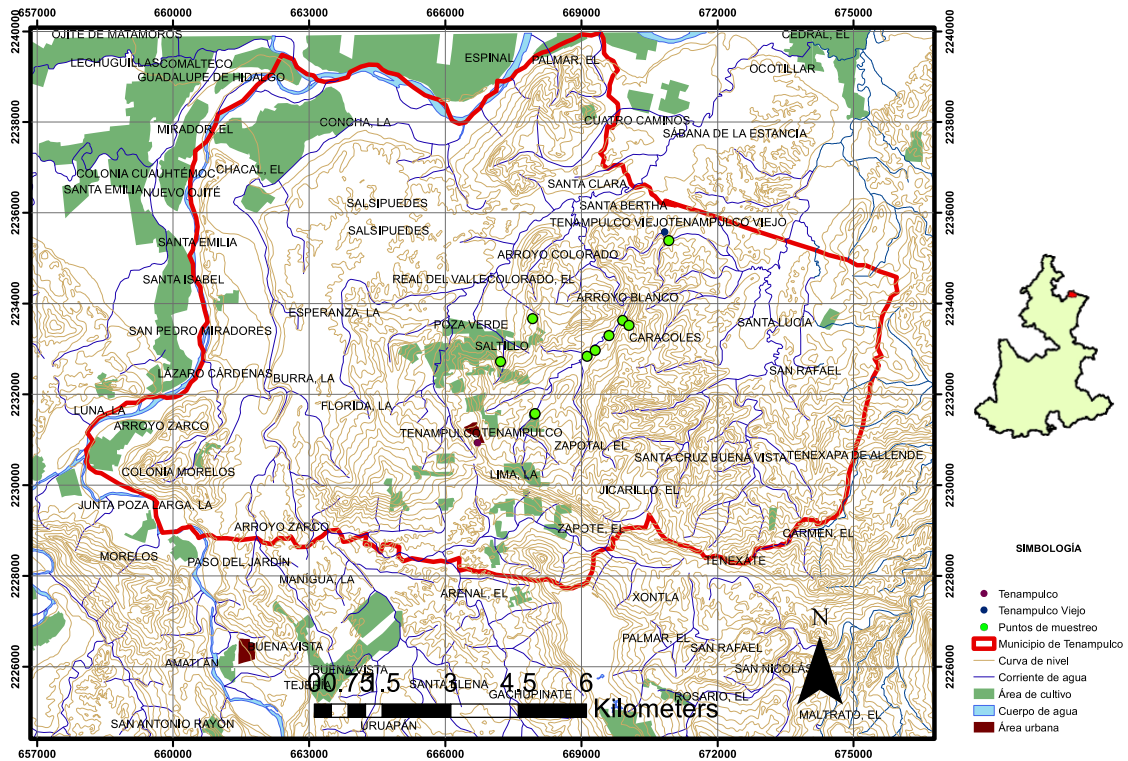


Figura 9. Puntos de muestreo en Tenampulco (Elaboración propia, 2018).

7.2.1.2. Análisis de conductividad, pH y temperatura.

A cada muestra tomada se midió directamente en sitio la conductividad, esto para conocer la concentración total de iones disueltos en cada muestra, así como la temperatura del agua en el punto de muestreo. Para la medición de estos dos parámetros se utilizó una sonda de conductividad HANNA instruments HI3001.

La determinación del potencial de los iones hidrógeno se realizó mediante un potenciómetro OAKLON, modelo pH 700.

7.2.1.3. Aplicación de encuestas.

Se aplicaron encuestas mediante entrevistas estructuradas (ANEXO 1). las personas entrevistadas fueron escogidas por conveniencia mediante muestreo no probabilístico (Otzen & Manterola, 2017) a personajes clave del municipio, por recomendación del Dr. Delfino Reyes, para determinar el manejo y uso del agua contaminada por parte de la población, que labora y/o vive cerca de los puntos de muestreo, estos personajes pueden ser agricultores o no.

7.2.2. Fase de laboratorio.

7.2.2.1. Caracterización del agua.

El agua se mantuvo a temperatura de refrigeración (de 4 a 8 °C) hasta su análisis de caracterización mediante lo descrito en la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los niveles máximos de contaminantes en aguas residuales.

7.2.2.1.1 Determinación de fosfato, sulfato, hierro, calcio, nitrato, cloro, magnesio y demanda química de oxígeno (DQO).

En las dos primeras etapas de muestreo se hizo una mezcla compuesta de las 12 muestras y en el tercer muestreo se realizó para cada una de las muestras la determinación de fosfato, sulfato, hierro, calcio, nitrato, cloro, magnesio y DQO. Para determinar estos parámetros se utilizó la técnica de fotometría, la cual es un método óptico por el cual las sustancias a determinar reaccionan con ciertos reactivos para formar un color determinado, cuya intensidad es proporcional a la concentración de la sustancia a medir. Los reactivos que interaccionarán con las sustancias a medir están provistos en kits para su determinación individual mediante un fotómetro electrónico HANNA instruments a la longitud de onda específica para cada sustancia. En la **Tabla 10** se muestran las sustancias determinadas, así como, el número de kit y la longitud de onda en la que se midieron.

Tabla 10. Sustancias a determinar con el fotómetro de HANNA instruments.

Parámetro a medir	Kit a utilizar	Longitud de onda (nm)
Fosfato	HI 93713-01	610
Sulfato	HI 93751-01	466
Hierro	HI 93746-01	575
Calcio	HI 937521-01	466
Nitrato	HI 93728-01	525
Cloro	HI 93701-01	525
Magnesio	HI 937520-01	466
DQO	HI 93754C-25	610

7.2.2.1.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

El método se basa en medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y

el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20 °C (SE, 2001). La determinación se realizó conforme a lo descrito OECD 301 “guideline for testing of chemicals” (OECD, 2001) y se tomaron los niveles máximos descritos en la norma NOM-003-ECOL-1997 (SEGOB, 1998).

7.2.2.2. Determinación cuantitativa de glifosato mediante Inmunoensayo.

Todas las muestras de agua obtenidas en cada una de las fases de muestreo en campo se analizaron mediante la técnica de inmunoensayo, aplicando la prueba ELISA (Abraxis, 2017), de acuerdo a la siguiente descripción resumida:

- a) Construcción de curva de calibración y procesamiento de muestras. Para la curva de calibración, primero se derivatiza al glifosato con el reactivo suministrado para hacerlo más afín al anticuerpo de conejo (dGly). Para ello se colocan en tubos de ensayo diferentes concentraciones conocidas de glifosato (75, 200, 750 y 4000 ng/L) más el reactivo derivatizante y se incubaron por 30 minutos. Una vez terminado el tiempo de reacción, se agregaron las partículas magnéticas que llevan unido el anticuerpo de conejo selectivo para el glifosato y se incubaron por 30 minutos. Al término del periodo de incubación se agregó la enzima peroxidasa que está etiquetada con glifosato (HRP-Gly). En este paso la HRP-Gly se une a los sitios remanentes que el dGly no haya ocupado del anticuerpo de conejo. En el siguiente paso se aplicó un magneto para separar a las partículas unidas al anticuerpo con dGly o HRP-Gly. El sobrenadante se desecha. Las partículas se lavaron con amortiguador tres veces. En el último paso se agregaron peróxido de hidrógeno y el sustrato colorido TMB (3,3',5,5'-tetrametilbenzidina) (**Figura 10**), y se permite que proceda la reacción por 20 minutos, para detener la reacción se agregó ácido sulfúrico, y se leyó la absorbancia a 450 nm. Se construyó la curva de calibración graficando el logaritmo de la concentración en el eje de las “x” contra la absorbancia de obtenida entre la absorbancia de la muestra “cero” por 100 (% B/B0) en el eje de las “y”. A mayor concentración de glifosato, menor número de sitios libres para que la HRP-Gly se una al anticuerpo, y por lo mismo, menor actividad catalítica reflejada en una menor absorbancia a 450 nm.
- b) Se repite el mismo procedimiento para las muestras de agua con concentración de glifosato desconocida. El valor de absorbancia resultante se interpola de la curva de calibración, o de preferencia se calcula la concentración usando la ecuación

resultante del ajuste por mínimos cuadrados de la curva de calibración. Todos los ensayos se realizaron por duplicado y se leyeron en un espectrofotómetro UV-visible.

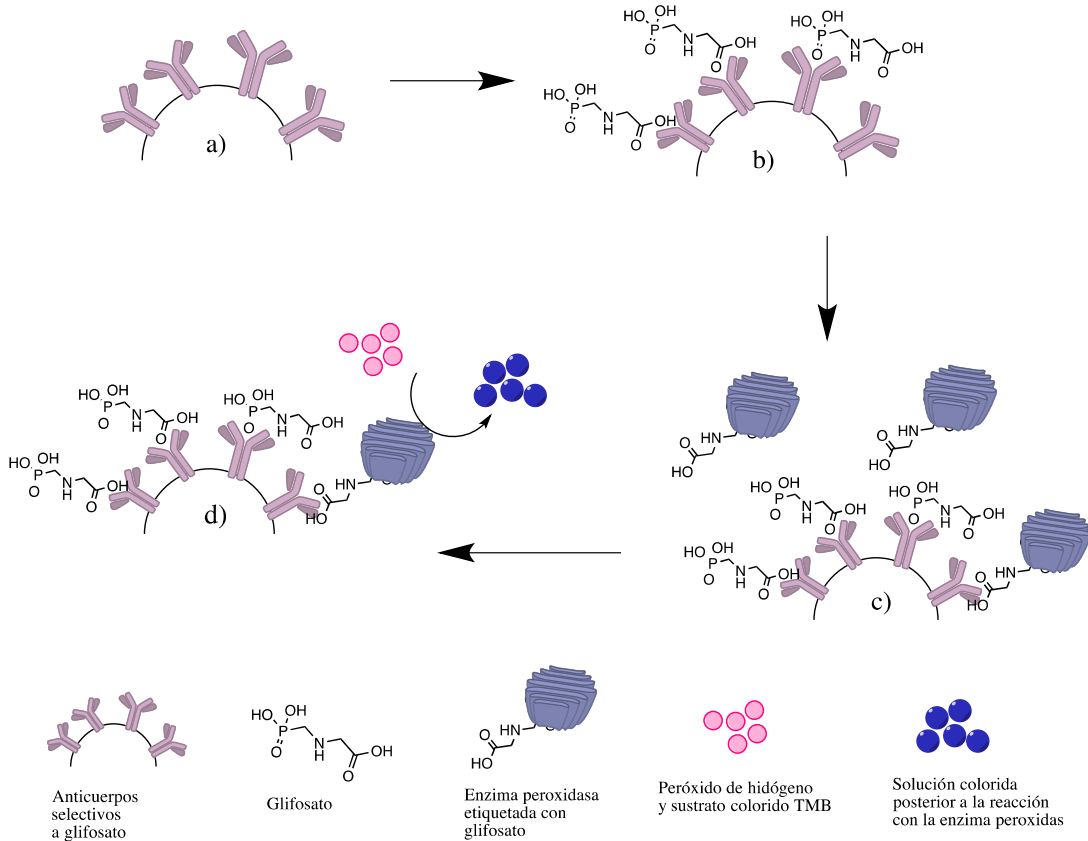


Figura 10. Fundamento de la técnica de ELISA para glifosato. A los anticuerpos selectivos a glifosato (a) se le adiciona la muestra que contiene glifosato (b), posteriormente se adiciona la enzima peroxidasa etiquetada con glifosato (c), luego de un par de lavados para quitar la enzima peroxidasa que no se unió a los anticuerpos específicos a glifosato se adiciona la solución de peróxido de hidrógeno y sustrato colorido TMB (3,3',5,5'-tetrametilbenzidina) (d) virando el color del medio a azul. La concentración de glifosato en la muestra será inversamente proporcional a la intensidad de color azul en la solución (elaboración propia, 2018).

7.2.2.3. Análisis estadístico.

Se analizó la relación que tiene la concentración de glifosato del tercer muestreo con los valores de caracterización del agua (fosfato, sulfato, hierro, calcio, nitrato, cloro, magnesio, DQO y DBO) también del último muestreo, mediante análisis de correlación Pearson para evaluar si alguna de las variables tiene relación lineal con la concentración de glifosato. Para evaluar cuáles son las variables que tienen influencia e indican la

presencia de glifosato, así como su relación con la concentración, se utilizó el análisis multivariado de componentes principales. Finalmente con las variables “ficticias” obtenidas tras el análisis por componentes principales se analizó si la relación es significativa mediante un modelo lineal (regresión lineal). Estos análisis se realizaron mediante el programa estadístico *R commander* (R 3.6.0) (Colbach, Fernier, Le Corre, Messéan, & Darmency, 2017; Dan Wang, Singhasemanon, & Goh, 2016).

7.2.2.4. Modelación matemática.

7.2.2.4.1. Elaboración de isoyetas e isotermas.

Para la elaboración del mapa de isoyeta y el mapa de isoterma se utilizaron 5 estaciones meteorológicas (**Tabla 11**) cercanas al municipio de Tenampulco, se analizaron los datos de precipitación y temperatura mensuales a partir del año 1990 y hasta el año 2016 mediante el procedimiento geoestadístico de interpolación *Kriging ordinario* con el programa *Surfer 9*.

Tabla 11. Nombres y coordenadas de las 5 estaciones meteorológicas aledañas a Tenampulco.

Número de estación	Nombre de la estación	Estado	Municipio	Coordenadas	
				X	Y
30058	Espinal (CFE)	Veracruz	Espinal	665195.67	2240797.03
30079	Joloapan (CFE)	Veracruz	Papantla	679757.03	2238728.12
21143	San José Acateno	Puebla	Acateno	688030.32	2227959.63
21215	Ayotoxco	Puebla	Ayotoxco	664321.26	2222799.27
30173	Tecuntepec	Veracruz	Zozocolico	653180.80	2227740.71

7.2.2.4.2. Modelación del grado de exposición humana mediante lógica difusa.

La exposición humana al herbicida glifosato es una problemática compleja que está vinculada a diferentes factores, tanto ambientales como sociales (Voet, Oers, Tomas Rydberg, Westerdahl, & Larsen, 2013), esta problemática se explica de manera general en la **Figura 11**, donde se muestran las interrelaciones en los diferentes compartimentos ambientales del glifosato.

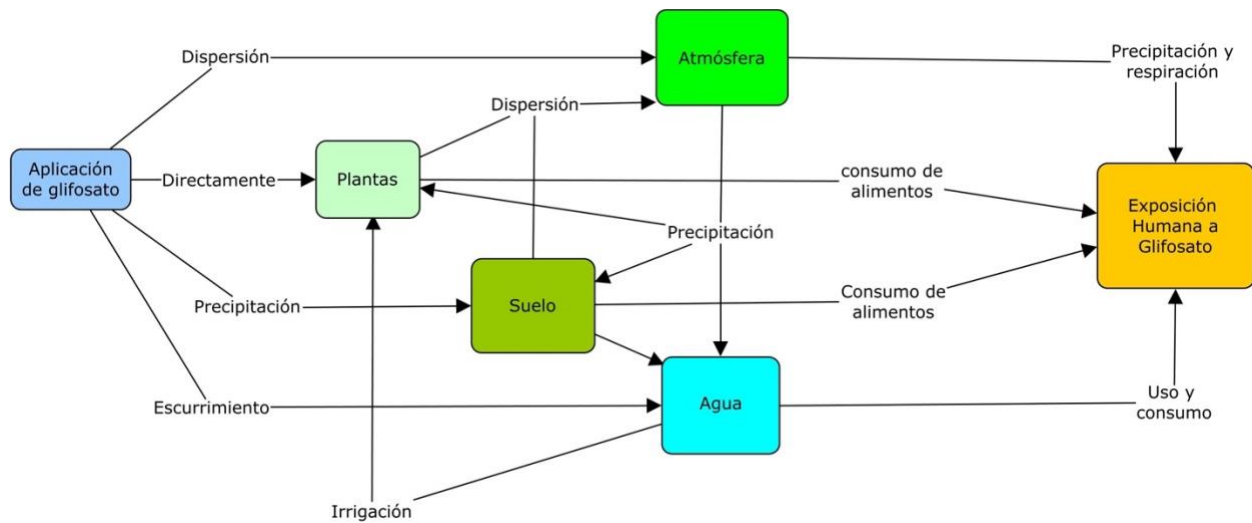


Figura 11. Diagrama general de la ruta de exposición humana a plaguicidas a través de los diferentes compartimentos ambientales (elaboración propia 2018; con información de (Van Bruggen et al., 2018)).

Al ser el agua uno de las principales rutas para estar en contacto e introducir glifosato al organismo, genera una problemática compleja que en este trabajo se explica en la **Figura 12**. Partiendo del compartimento ambiental agua en la localidad de Tenampulco, se establecerán para la modelación de la exposición humana, mediante lógica difusa utilizando el software *Matlab R2016b*, las variables ambientales (Temperatura y Precipitación) y sociales (beber agua, absorción cutánea por bañarse e ingesta de alimentos preparados con agua contaminada con glifosato) (**Figura 12**).



Figura 12. Variables ambientales y sociales que inciden a la exposición humana a glifosato a partir del agua contaminada con herbicida (Elaboración propia, 2018; con información de (Guillén et al., 2013)).

Para el diseño del modelo, las variables de entrada estarán representadas por las variables sociales (volumen de: agua contaminada, agua para prepara alimentos y agua para bañarse) y la exposición humana será la salida. Las funciones de pertenencia estarán determinadas inicialmente por la concentración de glifosato en agua en cada uno de los puntos de muestreo dónde hubo presencia del herbicida, esto determinará el grado de exposición (**Tabla 5**) debido al volumen de agua que la población bebe, con la que prepara sus alimentos y finalmente con el porcentaje de glifosato que pudiera ser absorbido en la piel dependiendo de la cantidad de agua que utilice para bañarse, el valor por absorción cutánea es de 0.8 % (Wester, Melendres, Sarason, McMaster, & Maibach, 1991), es decir que si una persona se baña con 10 L de agua contaminada con glifosato a una concentración de 5 $\mu\text{g/L}$, esta absorberá como máximo 0.4 μg de glifosato.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

8.1. Muestreo en campo.

Como se mencionó en la **Tabla 9** se tomaron 12 muestras de agua en 9 puntos de muestreos diferentes, de las cuales, siete fueron de aguas superficiales (**Figuras 13 y 14**), tres muestras se tomaron de aguas subterráneas (**Figura 15**), una muestra de agua de esorrentía (**Figura 16**) y una muestra de agua de una purificadora.



Figura 13. Sitio de muestreo “El caminito”, donde se recolecto la muestra “3” en aguas superficiales (fotografía propia, 2018).



Figura 14. Sitio de muestreo “El saltillo”, donde se recolecto la muestra “11” en aguas superficiales (fotografía propia, 2018).



Figura 15. Sitio de muestreo “Don Ángel”, donde se recolecto la muestra “11” en aguas subterráneas (fotografía propia, 2018).



Figura 16. Sitio de muestreo “Caracoles”, donde se recolecto la muestra “11” en agua de escorrentía (fotografía propia, 2018).

8.1.1. Conductividad, temperatura y pH del agua.

Todas las muestras fueron analizadas directamente en el sitio del punto de muestreo, obteniendo valores reales de temperatura del agua (**Tabla 12**), conductividad (**Tabla 13**) y del pH (**Tabla 14**).

La media de la temperatura en los dos primeros muestreo (1er muestreo 26 °C y 25.2 °C para el 2do muestreo) fue muy semejante, en la tercera etapa de muestreo la media de los valores fue menor (21.1) comparada con las dos primeras etapas, esto porque las muestras fueron tomadas en invierno. A pesar de esta diferencia en temperatura, se desataca que la temperatura del agua del municipio presenta una temperatura semicálida y cálida (de 18-22 °C y de 22-26 °C respectivamente) (Vargas Vázquez, Muruaga Martínez, & Pérez Guerrero, 2013) sin variación destacable entre los puntos de muestreo. Las muestras fueron tomadas de entre las 7 y las 11 horas.

Tabla 12. Valores de temperatura para los puntos de muestreo en las diferentes etapas.

Punto de muestreo	Temperatura °C		
	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo
1	26	25.7	22.5
2	27.2	26.1	18
3	27.6	25.6	23.9
4	25.1	25.4	18.4
5	26.2	25.3	18.9
6	24.9	24.8	19.1
7	25.4	26.5	18.9
8	25.6	25.4	20.1
9	23.8	24.1	23.5
10	26.4	25.2	21.3
11	25.9	23.8	21.8
12	28.2	24.9	26.9

En la conductividad se observaron valores que van de los 487 a 690 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En la media de los valores de conductividad (1er muestro 598 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2do muestreo 608 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y para el tercer muestreo 567 $\mu\text{S}/\text{cm}$) no se aprecia que difieran entre las diferentes tomas de muestra. La conductividad es la habilidad de una solución para conducir electricidad y es utilizada como medida de la cantidad de iones que están disueltos en una solución acuosa provenientes principalmente de sales disueltas (Rodríguez Zamora, 2009). Si bien en México no hay documento oficial que establezca los niveles permisibles de conductividad para agua potable, se ha establecido en otros países que 400 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) es un valor recomendado (Pérez-López, 2016). Si bien en algunos de los puntos de muestreo es utilizado para irrigar los cultivos, los intervalos de conductividad optima para irrigación, establecen que agua con conductividad menor de 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ es “excelente”, “buena” de 250-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, “permisible” de 750-2000 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y “dudosa” e “inservible” superior a los 2000 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Rodríguez Zamora, 2009), en todos los puntos de muestreo la conductividad es considerada como buena.

Tabla 13. Valores de conductividad para los puntos de muestreo en las diferentes etapas.

Punto de muestreo	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo
1	620	603	554
2	627	571	601
3	686	647	687
4	587	640	499
5	496	600	487
6	587	606	487
7	492	633	468
8	609	639	676
9	697	645	686
10	537	528	515
11	639	554	608
12	603	633	636

El potencial de iones hidrógeno indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución y está definida en un intervalo de 0 a 14, siendo 0 lo más ácido y 14 lo más alcalino. De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" el intervalo permisible de pH es de 6.5-8.5 (Secretaría de Salud, 1995), en la **Tabla 14** puede observarse que ninguna de las muestras de agua obtenida en los 12 puntos de muestreo está por debajo de 6.5 ni por encima de 8.5, por lo que puede considerarse que están dentro del intervalo permitido.

Tabla 14. Valores de pH para los puntos de muestreo en las diferentes etapas.

Punto de muestreo	pH		
	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo
1	7.03	6.91	7.43
2	7.27	7.73	7.84
3	7.32	6.92	7.12
4	6.97	7.32	7.63
5	7.79	6.94	7.94
6	7.32	7.31	7.5
7	7.54	7.6	7.84
8	7.14	7.24	7.67
9	6.8	7.24	7.28
10	7.77	7.83	8.18
11	6.93	7.21	7.34
12	7.54	7.18	7.37

8.1.2. Resultados de encuestas.

A manera de comunicación verbal se realizaron 38 encuestas a personajes clave de la localidad de Tenampulco. El instrumento de medición estuvo dividido en tres secciones para poder conocer el uso y manejo tanto del plaguicida como del agua que utilizan normalmente en sus actividades y de consumo (**ANEXO 2**). Antes de las secciones, se realizaron preguntas para conocer el sexo (55 % mujeres y 45 % hombres) y edad de la población de la localidad de Tenampulco, así como el tiempo en que lleva viviendo en la región, finalmente se preguntó cuál era su ocupación, pues esta respuesta guiara a responder toda la encuesta pues la primera y segunda sección están destinadas solo a personas que su ocupación sea la de agricultor. Del total de personas entrevistadas 18 (47 %) laboran en actividades relacionadas con la agricultura y 20 personas (53 %) su ocupación es en actividades del hogar, de las 21 mujeres entrevistadas solo una realiza actividades relacionadas con la agricultura y todos los hombres trabajan en la agricultura.

La primera sección estuvo enfocada en conocer sobre como los agricultores manejan sus cultivos y los plaguicidas en la localidad. El maíz es el principal cultivo en la región, ya que el 94 % de los agricultores lo siembra, solo una persona siembra solamente cítricos (6 %) y el 22 % siembra ambos, nadie de las personas cultiva en una extensión de tierra superior a las 10 hectáreas y todos hicieron mención que las

principales plagas son las hierbas (maleza), insectos y hongos y el 33 % mencionó a los roedores también. La maleza es la principal plaga que combaten siendo el glifosato el principal plaguicida utilizado por el 100 % de los agricultores encuestados y el 72 % lo combina con el 2,4-D (Ácido 2,4-diclorofenoxiacético) y paraquat. A pesar de que en México se han utilizado plaguicidas sintéticos por al menos desde los años 60s (Restrepo, 1988) solo el 11 % ha utilizados estos agroquímicos por más de 30 años estando la mayor cantidad (83 %) por debajo de los 20 años de uso. Un factor sumamente importante en la seguridad de los agricultores que utilizan agroquímicos, en especial plaguicidas, es la forma de aplicación (Herrera Moreno et al., 2018), en el caso de la localidad, más de la mitad de los agricultores entrevistados (56 %) no utilizan ningún equipo o medida de seguridad y el principal medio de seguridad es el uso de un pañuelo o paliacate, esto es preocupante pues la etiqueta del envase declara el uso de mascarilla, overol, guantes y botas de goma pues puede ser una sustancia tóxica y que irrite los ojos (Monsanto, 2019). El 94 % de los entrevistados declara que no desperdicia nada de los plaguicidas y que si sobra algo en alguno de los envases lo reutiliza para la siguiente aplicación. Un caso que figura como alarmante es el desecho de envases vacíos de plaguicidas, porque a pesar de que en teoría hay programas para el lavado y recolección de envases vacíos de plaguicidas (SAGARPA, 2012) un 50 % quema a cielo abierto los envases que ya no tienen los agroquímicos, el 22 % los tira a la basura y ninguno los desecha en contenedores especiales, esencialmente porque el programa no llega al municipio y mucho menos a la localidad y no existen contenedores para la disposición de los mismos. Por último, el 72 % de los agricultores después de adquirir los plaguicidas y previo a su utilización los almacena en el trabajo, principalmente en el interior de los lugares donde cultiva (44 %).

Para la segunda sección el tema fue destinado específicamente al uso y manejo de glifosato por parte de los agricultores de la localidad. Para la aplicación del herbicida todos los agricultores entrevistados utilizan la mochila para aplicar el herbicida en las plantas no deseadas (**Figura 17**) principalmente en la temporada de invierno y verano, que son las fechas en que se prepara las tierras para el cultivo, la concentración que utilizan en todos los casos es el de 360 gramos de glifosato por litro de agua, la formulación del envase es en forma de sal de isopropilamina de glifosato al 41 % (**Figura 18**), para preparar la mochila pulverizadora vierten 100 mililitros del glifosato en 20 litros de agua, que es la capacidad máxima de la mochila. Dependiendo de la temporada hay agricultores que utilizan 200 mililitros por litro de agua pues necesitan mayor

concentración, ya que hay mayor abundancia de plantas no deseadas, el 67 % de los agricultores utilizan 10 mochilas tras la preparación ya mencionada, es decir 360 g de glifosato por hectárea de cultivo, el restante 33 % utiliza 720 g por hectárea. El 100 % de los agricultores entrevistados respondieron que aplican el herbicida por la mañana, ya que antes del medio día es muy complicado aplicarlo por las altas temperaturas. En temporada de aplicación es muy variada la frecuencia en la aplicación, pues el 11 % respondió que aplica 1 vez al mes, el 17 % una vez cada 15 días al igual que los que aplican de 2 a 3 veces por semana, el 22 % que aplica una vez a la semana y el mayor numero de porcentaje fueron los que aplican diariamente (28 %). Finalmente, todos los agricultores mezclan el glifosato con otros plaguicidas e incluso herbicidas, el 50 % mencionó que hace estas mezclas debido a que cada vez hay mayor resistencia, el 28 % porque aprovecha la aplicación para combatir otras plagas y por último el 22 % para combatir otras especies de hierbas (maleza) que el glifosato no mata.



Figura 17. Aplicación de glifosato con mochila pulverizadora en la localidad de Tenampulco (fotografía propia 2018).



Figura 18. Presentación de glifosato para aplicación en la localidad de Tenampulco (fotografía propia, 2019).

En la tercera sección se hicieron participe a todos los encuestados, pues en esta última parte se abordaron las condiciones sociales de la población sobre el uso de agua contaminada con glifosato y poder relacionarlas con la exposición a partir de la concentración encontrada en los distintos puntos de muestreo. Primero se pregunto el origen del agua que utiliza para preparar sus alimentos y beber, arrojando un dato semejante al que muestra INEGI, ya que esta institución publica que el 95 % de la población obtiene el agua de pozos (INEGI, 2017) y en la encuesta realizada en este trabajo se encontró que el 80 % la obtiene directamente de los pozos, el 16 % lo obtienen de agua entubada municipal y el resto lo obtiene comprando agua embotellada y/o de garrafón. Se observó que la mayoría de la población (87 %) utiliza algún método de purificación, principalmente hirviendo el agua con un 68 %, 19 % de la gente filtra el agua y el 13 % restante no realiza ningún método. En la **Figura 19** se observa la cantidad de agua que bebe diariamente la población, mostrando que dos terceras partes de la gente bebe más de 2 litros de agua al día. Para la pregunta del agua utilizada para la preparación de

alimentos se tomaron en cuenta las cantidades totales de agua que intervienen en la suma de los procesos de los alimentos, tanto en la dilución, cuando hierven e incluso cuando se lavan vegetales o frutas y que pueden estar relacionados directamente al consumo del agua, en la **Figura 20** se muestran las cantidades de agua observándose que el 63 % de las muestras utilizan más de 5 litros de agua, la cantidad más utilizada fue la de 9 a 10 litros, con un 19 %. Finalmente se evaluó la cantidad de agua que usa la gente para bañarse, pues un porcentaje de glifosato contenido en el agua puede ser absorbido por la piel, en la **Figura 21** se muestran los valores de agua en litros de las respuestas expresadas por la población de la localidad, observándose que la mayor parte de la población (81 %) utiliza entre 20 y 30 litros de agua para bañarse. Estos últimos tres parámetros son necesarios para la construcción del modelo a partir de lógica difusa (**sección 8.2.3.2**) pues determinan junto con la concentración detectada en los puntos de muestreo los niveles de exposición (**Tabla 5**) al que la población de la localidad de Tenampulco esta.



Figura 19. Cantidades de agua para beber en litros diarios de la localidad de Tenampulco (elaboración propia, 2019)

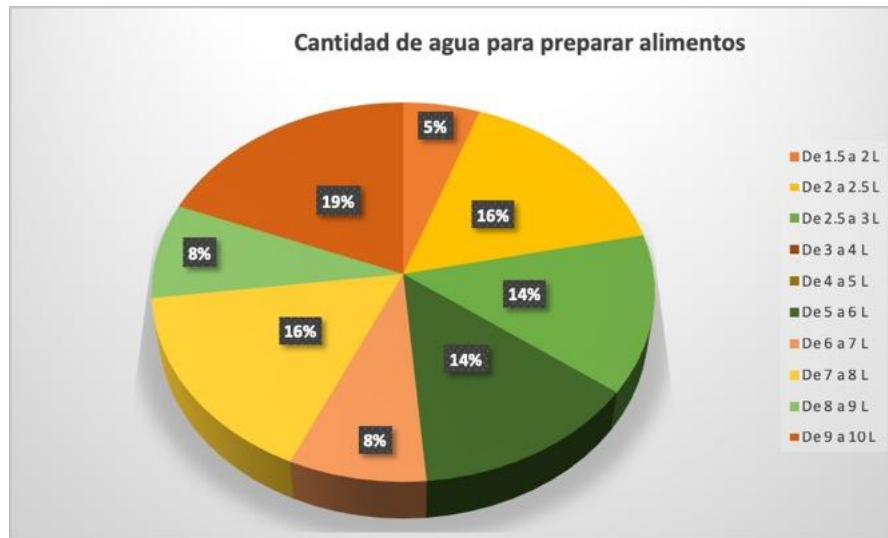


Figura 20. Cantidad de agua que utiliza la población de Tenampulco para preparar sus alimentos.



Figura 21. Cantidad de agua para bañarse utilizada por la población de la localidad de Tenampulco.

8.2. Resultados de laboratorio.

8.2.1. Caracterización del agua.

8.2.1.1. Determinación de fosfato, sulfato, hierro, calcio, nitrato, cloro, magnesio y demanda química de oxígeno (DQO).

De las muestras de agua obtenidas se hizo una mezcla compuesta en las primeras dos etapas de muestreo, obteniéndose los resultados mostrados en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Valores para caracterización de las muestras de agua tomadas en la localidad de Tenampulco.

Muestreo	Fosfatos (mg/L) (PO ₄ ³⁻)	Sulfato (mg/L) (SO ₄ ²⁻)	Hierro (µg/L) (Fe)	Nitratos (mg/L) (NO ₃ ³⁻)	Cloro libre (mg/L)	Calcio (mg/L) (Ca ²⁺)	Magnesio (mg/L) (Mg ²⁺)	DQO (mg/L)
1er muestreo	0.38	20	19	4.6	0.09	145	5	139
2do muestreo	0.01	25	6	11.3	0.04	205	5	257




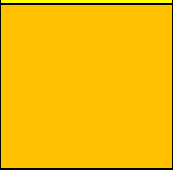
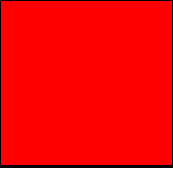
Para la tercera etapa de muestreo se caracterizó cada una de las muestras de los diferentes puntos de muestreo (**Tabla 16**). De acuerdo con la NOM-127-SSA-1994 sulfato y cloro libre tienen como límite máximo en agua 400 mg/L y 1.5 mg/L respectivamente, ninguna de las muestras obtenidas supera estos valores (Secretaría de Salud, 1995). Para el caso de magnesio (Mg) el valor máximo permisible es de 0.15 mg/L, el Mg junto con el calcio (Ca) (del cual no existe valor máximo permisible en México) determinan la dureza del agua, la cual al ser “blanda” (por debajo de los 100 mg/L) pierde su capacidad amortiguadora y puede ser corrosiva en presencia de algunos metales, en otros países como Costa Rica el valor recomendado de Mg y Ca son de 50 y 100 mg/L respectivamente, por lo que en el caso de las muestras de Tenampulco el Mg estaría dentro de los parámetros y el Ca fuera, estos dos átomos solo están presentes en forma de sales, por lo que pueden contribuir en la conductividad previamente descrita (Pérez-López, 2016; Rodríguez Zamora, 2009; Secretaría de Salud, 1995). El nitrato (NO₃) es un compuesto que se encuentra de manera natural disuelto en agua y su presencia es debida al ciclo del nitrógeno, en aguas subterráneas y superficiales en donde no hay actividades humanas no supera los 2 mg/L, concentraciones altas de compuesto son debido principalmente al uso de fertilizantes agrícolas, abono de estiércol y composteos (Palomares, 2013; Programa Regulatorio Agrícola, 2013), la presencia de alta concentración de nitratos en los puntos de muestreo 1, 6, 9 es debido a la cercanía de cultivos y crianza de ganado cercano al lugar de la toma de la muestra y para el punto de muestreo 11, aparte de las dos variables mencionadas su alta concentración de este compuesto es debida a que no es agua corriente y que algunas personas de la localidad lavan sus envases de agroquímicos en el agua, por lo que no hay manera de que pueda circular el agua contaminada, la Secretaría de Salud establece como límite máximo para nitratos 10 mg/L (Secretaría de Salud, 1995). Al ser el glifosato un compuesto quelante puede unirse

divalentemente con el hierro (también con el calcio y magnesio) formando complejos estables, por lo que altas concentraciones de hierro en el suelo o en el agua pueden provocar que el glifosato persista varios meses (Mertens, Höss, Neumann, Afzal, & Reichenbecher, 2018), en el caso de las muestras de agua no se observaron grandes cantidades de hierro y todas las muestras estuvieron por debajo del límite establecido (300 µg/L). Uno de los compuestos con los que el glifosato compite en el suelo para ser adsorbido es el fosfato, la presencia de este compuesto favorece el transporte de glifosato en agua y evita que el herbicida pueda ser degradado fácilmente por microorganismos (Malone & Foster, 2019), el fosfato no está limitado en ninguna norma mexicana, pero en otros países como Colombia el límite máximo permisible en agua para beber es de 0.5 mg/L (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007), cuando la concentración de fosfatos es superior a los 0.1 mg/L es muy probable que haya eutrofización, pero como en todas las muestras (excepto el punto de muestreo 11) hay corriente de agua y ayuda a la oxigenación, no es notorio este fenómeno, cabe destacar que solo en el punto de muestreo 9 no hubo presencia de fosfatos, por lo que la presencia de este compuesto puede conducir a la presencia de glifosato. Finalmente, la DQO indica la cantidad de materia inorgánica y orgánica, ya sea biodegradable y no biodegradable, un incremento de este valor indica la presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales, sustancias que llegan a ser recalcitrantes para el ambiente, en México se establecen, mediante la evaluación de la calidad, los valores que determinan el estatus del agua de acuerdo a lo estipulado en la escala de clasificación de la calidad del agua respecto a su DQO (**Tabla 17**) (Comisión Nacional del Agua, 2018), de acuerdo a la escala de clasificación el agua de la localidad se encuentra contaminada y en los puntos de muestreo 9 y 11 el agua está fuertemente contaminada, principalmente de sustancias recalcitrantes provenientes de las actividades agroindustriales de la región, como agroquímicos.

Tabla 16. Valores de caracterización de agua para los 12 puntos de muestreo en la tercera etapa.

Punto de muestreo	Fosfato (mg/L) (PO ₄ ³⁻)	Sulfato (mg/L) (SO ₄ ²⁻)	Hierro (µg/L)	Nitratos (mg/L) (NO ₃ ³⁻)	Cloro libre (mg/L)	Calcio (mg/L)(Ca ²⁺)	Magnesio (mg/L)(Mg ²⁺)	DQO (mg/L)
1	0.4	20.0	96.0	98.8	0.1	160.0	5.0	170
2	0.3	20	46	3.4	0.01	80	0	80
3	1.1	15	50	27.3	0.03	140	10	176
4	0.5	10	101	0	0.08	120	0	86
5	0.7	15	118	1.9	0.02	140	5	123
6	0.9	15	59	87.3	0.06	140	30	127
7	0.1	15	103	0	0.07	170	5	142
8	0.3	25	99	6.3	0.02	100	10	128
9	0	15	89	93	0.02	220	0	221
10	0.8	15	31	7.8	0.03	100	5	160
11	0.5	10	165	122.7	0.05	130	5	260
12	0.5	15	63	0	0.02	120	10	123

Tabla 17. Escala de clasificación de la calidad del agua de acuerdo a su DQO (Comisión Nacional del Agua, 2018).

Criterio (mg/L)	Clasificación	Color
DQO ≤ 10	EXELENTE	
	No contaminada	
10 < DQO ≤ 20	BUENA CALIDAD	
	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	
20 < DQO ≤ 40	ACEPTABLE	
	Con indicio de contaminación, aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biologicamente	
40 < DQO ≤ 200	CONTAMINADA	
	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de aguas municipales	
DQO > 200	FUERTEMENTE CONTAMINADA	
	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	

8.2.1.2. Demanda Biológica de Oxígeno.

Los valores de DBO de las primeras dos etapas de los puntos de muestreo a partir de una muestra compuesta de los 12 puntos de muestreo fueron: 1er muestreo 0.7 mg/L y 0.5 mg/L para el 2do muestreo. En la tercera etapa de muestreo se analizó la DBO de cada uno de los puntos de muestreo, estos resultados se muestran en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Valores de DBO₅ en el tercer punto de muestreo.

Punto de muestreo	DBO ₅ (mg/L)
1	0.2
2	0.15
3	0.3
4	0.65
5	0.1
6	0.05
7	0.15
8	0.3
9	0.15
10	0.35
11	0.2
12	0.05

La demanda biológica de Oxígeno es una medida de la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua, un incremento en su concentración incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos, la Comisión Nacional del Agua establece la escala de clasificación de DBO₅ (**Tabla 19**) (Comisión Nacional del Agua, 2018), es ella se puede apreciar que en las aguas de Tenampulco no existe contaminación por este tipo de sustancias.

Tabla 19. Escala de clasificación de la calidad del agua de acuerdo a su DBO₅ (Comisión Nacional del Agua, 2018).

Criterio (mg/L)	Clasificación	Color
DBO ₅ ≤ 3	EXELENTE	
	No contaminada	
3 < DBO ₅ ≤ 6	BUENA CALIDAD	
	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	
6 < DBO ₅ ≤ 30	ACEPTABLE	
	Con indicio de contaminación, aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biologicamente	
30 < DBO ₅ ≤ 120	CONTAMINADA	
	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de aguas municipales	
DBO ₅ > 120	FUERTEMENTE CONTAMINADA	
	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	

8.2.2. Cuantificación de Glifosato en aguas de Tenampulco por inmunoensayo.

Para cada etapa de muestreo se construyó una curva de calibración con los valores de absorbancia producidos por la oxidación del TMB a partir de la reacción enzimática de la peroxidasa, donde a mayor respuesta del TMB menor es la concentración de glifosato en la muestra (**Figura 22**).

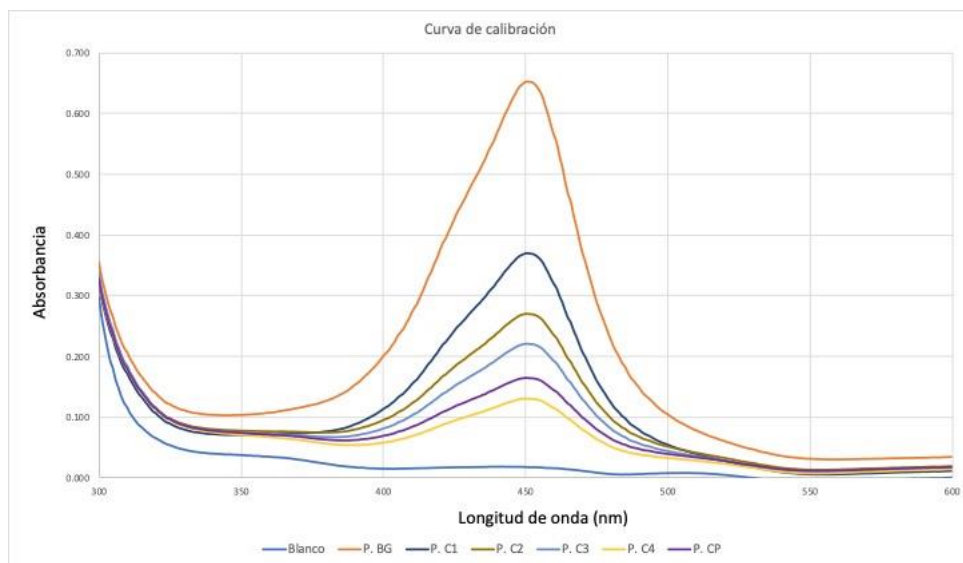


Figura 22. Gráficos de la curva de calibración leídos en el espectrofotómetro UV-Visible a 450 nm.

En la **Figura 23** se muestran las curvas de calibración de las etapas de muestreo, en ellas se observa un alto coeficiente de determinación indicando la buena linealidad del método.

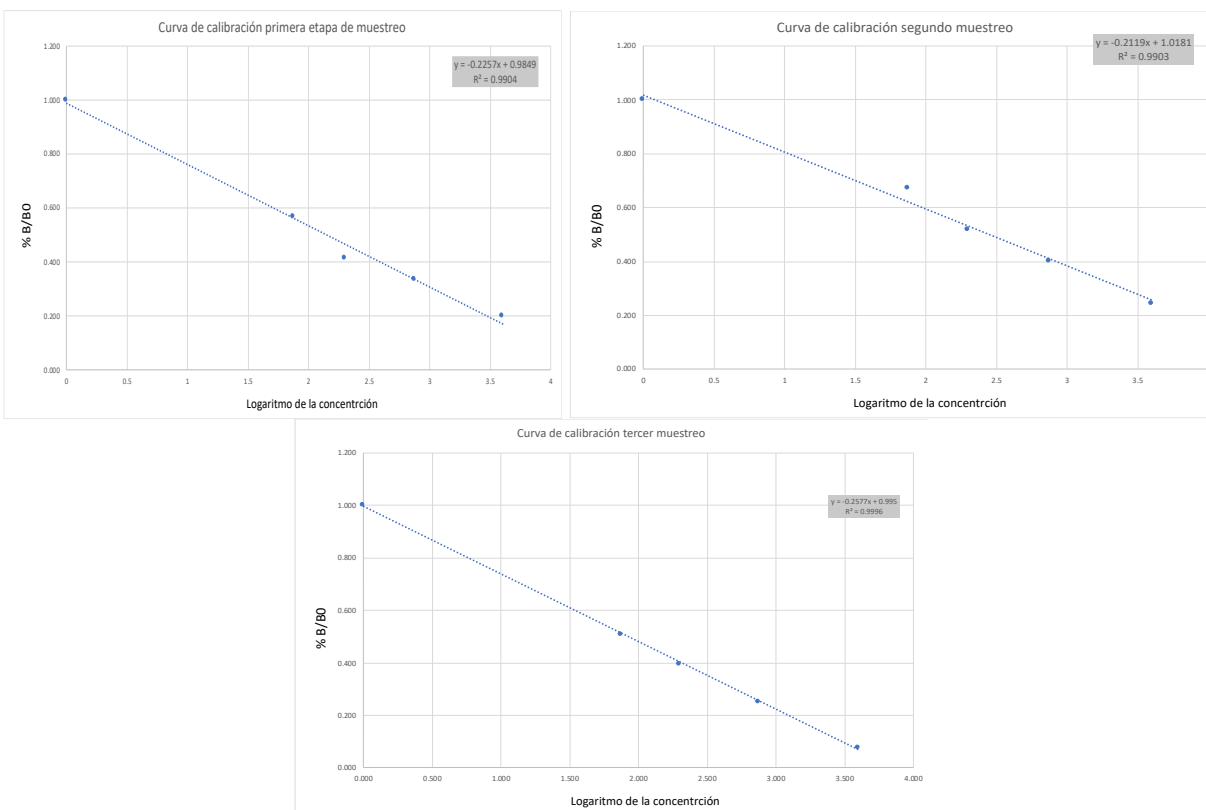


Figura 23. Gráficos de la curva de calibración de las etapas de muestreo.

Para calcular la concentración de glifosato de las muestras Tenampulco tras el análisis de inmunoensayo se utiliza la ecuación de la recta:

$$y = mx + b$$

donde y es el valor del % B/B0, m es la pendiente de la recta, x es el logaritmo de la concentración y b es la ordenada al origen.

En la **Tabla 20** se muestran los valores de concentración para los 12 puntos de muestreo en las diferentes etapas. En ella se observa que en el primer muestreo, seis muestras (2, 4, 5, 6, 8 y 12) están por debajo del límite de detección de la técnica (50 ng/L), la otra mitad (1, 3, 7, 9, 10 y 11) con respuesta por arriba del límite de detección no supera el límite máximo permisible en agua para glifosato en México (10,000 ng/L), no así con la norma de la región europea que establece un máximo en agua de 100 ng/L, en donde todas estas muestras estarían por arriba de dicho límite. Es importante mencionar que una semana antes del muestreo, en la región de la localidad de Tenampulco hubo una lluvia torrencial que provoco inundaciones en la zona, lo que indica que los valores determinados pudieran estar en concentraciones mas elevadas. Para el segundo muestreo se observa que las muestras de los puntos de muestreo 2, 4, 5 y 6 no presentaron concentración de glifosato, igual que en el primer muestreo, no así las muestras 8 y 12 donde se encontró la presencia de glifosato, en las muestras donde en el primer muestreo hubo presencia de glifosato, se determinó nuevamente el herbicida a concentraciones superiores, excepto en la muestra 10, donde disminuyó levemente la concentración de glifosato. En el último periodo de muestreo realizado en la temporada de invierno se encontraron concentraciones más elevadas que en todos los puntos de muestreo donde hubo presencia del herbicida en las dos etapas anteriores, excepto en el punto de muestreo 11 donde la concentración disminuyó mas de 1000 ng/L, en el punto de muestreo 6 hubo presencia de glifosato a una concentración superior de los 100 ng/L, que es un sitio donde no hubo presencia de glifosato anteriormente.

Tabla 20. Concentraciones de glifosato en las muestras de Tenampulco para las distintas etapas de muestreo.

Punto de muestreo	Nombre	Tipo de agua	Concentración 1er muestreo (ng/L)	Concentración 2do muestreo (ng/L)	Concentración 3er muestreo (ng/L)
1	Purificadora I	Subterránea	255	489	1434
2	Purificadora II	Embotellada	<LD	<LD	<LD
3	El caminito	Superficial	374	1106	2554
4	Pozo PEMEX	Superficial	<LD	<LD	<LD
5	Arroyito	Superficial	<LD	<LD	<LD
6	Caracoles I	Escorrentía	<LD	<LD	111
7	Caracoles II	Superficial	326	521	1575
8	Don Lencho	Subterránea	<LD	386	876
9	Don Ángel	Subterránea	769	1641	2459
10	Tenampulco Viejo	Superficial	525	482	1308
11	Saltillo	Superficial	809	4359	3112
12	Saltillo (Tepetate)	Subterránea	<LD	160	358

En México hay dos reportes de la presencia de glifosato en agua. En Campeche, Rendón y Dzul (2017) analizaron muestras de agua subterránea, embotellada y orina de la población, para el caso de agua subterránea se muestrearon 29 muestras, de las cuales el 90 % se determinó la presencia del herbicida con una concentración máxima de 1580 ng/L y una media de 1050 ng/L, comparado con el tercer muestreo de esta investigación, el 100 % de las muestras analizadas en aguas subterráneas con un valor máximo de casi 2500 ng/L y una media de 1280 ng/L, es importante destacar que en la región de Campeche hay reportes del uso intensivo de organismos genéticamente modificados resistentes a glifosato, principalmente soya y algodón (Santana, 2017), por lo que el uso de glifosato en cultivos es mayor, en la localidad de Tenampulco al presentar mayor concentración los riesgos ecotoxicológicos, a la salud humana y por exposición son mayores (Van Bruggen et al., 2018). En Chiapas, Ruiz-Toledo y colaboradores (2014) evaluaron la presencia de glifosato en dos periodos de tiempo (febrero y julio) para diferentes cuerpos de agua (superficial y subterránea), los resultados del estudio mostraron que en la temporada de sequía hay mayor concentración de glifosato (promedio 5690 ng/L y concentración máxima 36710 ng/L) que en la temporada de lluvias (promedio 350 ng/L y concentración máxima 1330 ng/L) (Ruiz-Toledo et al., 2014), la

misma tendencia se presenta en esta investigación, pues se determinó mayor concentración de glifosato en la temporada donde hay menor precipitación (enero; 2do muestreo) (promedio 750 ng/L y concentración máxima 4360 ng/L) que en la temporada cuando más llueve (agosto; 3er muestreo) (1150 ng/L y concentración máxima 3110 ng/L), la disparidad de concentraciones es debido principalmente a la continua aplicación por una gran diversidad de cultivos en la zona de Chiapas (Ruiz-Toledo et al., 2014).

A nivel internacional, en los últimos años (**Tabla 3**) se ha encontrado la presencia de glifosato tanto en agua subterránea como superficial, por ejemplo, en Canadá se determinó en agua superficial en promedio para 15 muestras 400 ng/L y con una muestra de 3000 ng/L (Montiel-León et al., 2019), Argentina 2700 ng/L en promedio de sus muestras y 8100 ng/L la concentración más alta (Lupi et al., 2019), Sri Lanka se encontraron concentraciones de entre 1000 y 4000 ng/L (Shankani Gunarathna, Buddhika Gunawardana, Mahesh Jayaweera, 2018). Estos valores son muy parecido a lo encontrado en la localidad de Tenampulco, excepto en Argentina, debido al intenso uso de glifosato sobre cultivos donde se siembran organismos genéticamente modificados (Alonso, Demetrio, Agustina Etchegoyen, & Marino, 2018). Si bien el paso del glifosato al recurso hídrico es por actividad agrícola, una fracción corresponde a actividades en el hogar y jardín (Villeneuve, Larroud, & Humbert, 2011).

8.2.3. Análisis estadístico.

Para todas las variables de la caracterización del agua (fosfato, sulfato, hierro, calcio, nitrato, cloro, magnesio, DQO y DBO) se determinó su relación con la concentración de glifosato en agua, mediante la matriz de correlación de Pearson (**Figura 24**), observándose que la DQO tiene una fuerte correlación con la concentración de glifosato (**Figura 25**), esto principalmente debido a que en las aguas donde se presentaba un valor elevado de la demanda química de oxígeno hay mayor concentración de glifosato, por lo que la relación es positiva.

	Calcio	Cloro	DBO	DQO	Fosfato	Glifosato	Hierro	Magnesio	Nitratos	Sulfato
Calcio	1.00000000	0.26689405	-0.255321589	0.52851396	-0.34540722	0.477046060	0.28624431	-0.05296701	0.49553259	-0.23512468
Cloro	0.26689405	1.00000000	0.300619715	0.05363631	-0.03156521	0.055664418	0.30377703	0.09196791	0.34789181	-0.24441445
DBO	-0.25532159	0.30061972	1.000000000	-0.17125275	0.09826502	-0.009914209	0.02579649	-0.39037440	-0.26266613	-0.22443275
DQO	0.52851396	0.05363631	-0.171252753	1.00000000	-0.06407510	0.920137233	0.44139882	-0.07893678	0.75053497	-0.29127541
Fosfato	-0.34540722	-0.03156521	0.098265023	-0.06407510	1.00000000	-0.082082484	-0.35004598	0.53054130	-0.04724499	-0.24144733
Glifosato	0.47704606	0.05566442	-0.009914209	0.92013723	-0.08208248	1.000000000	0.31774777	-0.19494683	0.56799542	-0.21795869
Hierro	0.28624431	0.30377703	0.025796487	0.44139882	-0.35004598	0.317747769	1.00000000	-0.23210378	0.39050826	-0.28099821
Magnesio	-0.05296701	0.09196791	-0.390374396	-0.07893678	0.53054130	-0.194946830	-0.23210378	1.00000000	0.21892085	0.07835548
Nitratos	0.49553259	0.34789181	-0.262666134	0.75053497	-0.04724499	0.567995423	0.39050826	0.21892085	1.00000000	-0.18809004
Sulfato	-0.23512468	-0.24441445	-0.224432751	-0.29127541	-0.24144733	-0.217958685	-0.28099821	0.07835548	-0.18809004	1.00000000

Figura 24. Matriz de correlación de las variables de la caracterización del agua y la concentración de glifosato en agua.

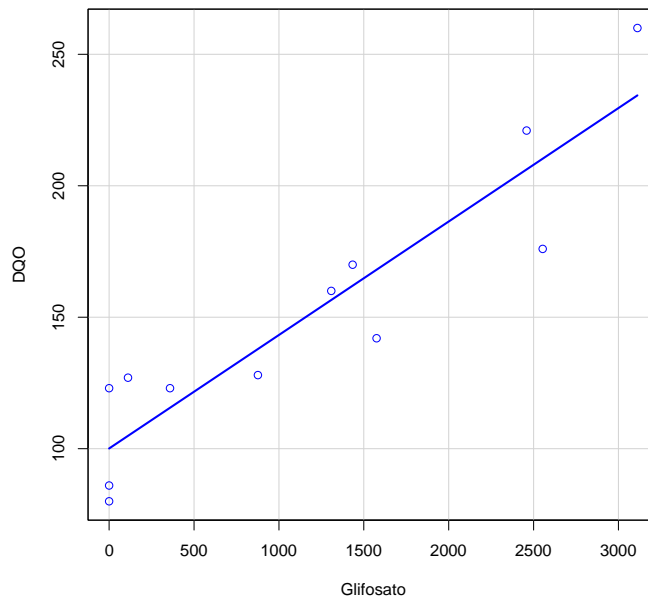


Figure 25. Grafico de correlación de Pearson de la concentración de glifosato en el tercer muestreo y la DQO.

En el análisis de componentes principales se observa que las 4 primeras componentes explican casi el 80 % del problema (**Figura 26**), de estas cuatro componentes la componente principal 1 y 4 están relacionadas con la concentración de glifosato en el agua. En la primera componente se observan variables con las cuales el glifosato puede formar complejos (hierro y calcio) (Mertens et al., 2018) y la DQO que contiene otras sustancias que también pudiera formar dichos complejos, siendo las variables de esta componente indicadoras de la presencia de glifosato en el agua del municipio (Ramrakhiani, Ghosh, Mandal, & Majumdar, 2019). La cuarta componente esencialmente es el fosfato el que se relaciona con la concentración de glifosato, pues al competir por los sitios activos en suelo la presencia de esta sustancias proveniente principalmente de la aplicación de fertilizantes en la zona, favorece a que el glifosato se transporte y este presente en agua (Borggaard & Gimsing, 2008; Gimsing, Szilas, & Borggaard, 2007).


```

Component loadings:
  Comp.1   Comp.2   Comp.3   Comp.4   Comp.5   Comp.6   Comp.7   Comp.8   Comp.9   Comp.10
Calcio    0.39212532  0.02356818  0.14565496  0.2239611  0.23401532  0.62893091  0.424061451  0.20881645  0.31654386  0.01893818
Cloro     0.17985908 -0.09606122 -0.44752966  0.6106227  -0.29860935  0.14681110 -0.074606777 -0.50053251 -0.07580731 -0.11275357
DBO       0.07380575 -0.45573647 -0.49892859 -0.1605346  -0.38931348  0.09156702  0.185037337  0.56018538 -0.04000095 -0.05059469
DQO       0.48995280  0.11818995  0.04850530  0.3182508  -0.13069551 -0.08589283 -0.003816681 -0.03834940 -0.06840686 -0.78212365
Fosfato   -0.4111157  0.44714180 -0.48952516 -0.3188645  -0.02854734 -0.06158730  0.225715001 -0.22091378  0.57623021  0.04942598
Glifosato 0.44291558  0.01705861  0.03809042  0.4164986  -0.30090999  0.08372296  0.211306104 -0.28208367 -0.34573864  0.53600352
Hierro    0.33681270 -0.25208639 -0.04214614  0.2278180  0.23114640 -0.71929813  0.407233209  0.03037467  0.14633571  0.10167692
Magnesio -0.07190912  0.65575647 -0.14427349  0.2675112  -0.02720289 -0.09471584  0.312382252  0.32734928 -0.50744481 -0.02199710
Nitratos  0.43588512  0.26702180 -0.02797404  0.1475987  -0.22846830 -0.13254336 -0.583558661  0.39200849  0.28830082  0.26275726
Sulfato   -0.20902431  0.05882745  0.51260109  0.1718491  -0.69978196 -0.11135149  0.284240270 -0.02143919  0.27233336 -0.05517793

Component variances:
  Comp.1   Comp.2   Comp.3   Comp.4   Comp.5   Comp.6   Comp.7   Comp.8   Comp.9   Comp.10
3.4257248 1.7837870 1.5631583 1.1383495 0.7259535 0.6680789 0.2870935 0.2122425 0.1705890 0.0250229

Importance of components:
  Comp.1   Comp.2   Comp.3   Comp.4   Comp.5   Comp.6   Comp.7   Comp.8   Comp.9   Comp.10
Standard deviation 1.8508713 1.3355849 1.2502633 1.066935 0.85202908 0.81736094 0.53581111 0.46069785 0.4130242 0.15818628
Proportion of Variance 0.3425725 0.1783787 0.1563158 0.113835 0.0725935 0.06680789 0.02870935 0.02122425 0.0170589 0.00250229
Cumulative Proportion 0.3425725 0.5209512 0.6772670 0.791102 0.86369732 0.93050521 0.95921456 0.98043881 0.9974977 1.00000000

```

Figura 26. Análisis de componentes principales para las variables de la caracterización del agua y la concentración de glifosato en el tercer muestreo.

Finalmente, con las primeras cuatro componentes principales se realizó un análisis de regresión lineal para determinar si la relación de dichas componente con la concentración de glifosato en agua es significativa (**Figura 27**). En dicho análisis se observó que la primera componente principal tiene mayor significancia, por lo que las variables que ayudan a acomplejar al glifosato favorecen su presencia en agua (Ramrakhiani et al., 2019) y la cuarta componente, aunque con una significancia menor que la primera, favorece la presencia de glifosato, esto principalmente a la presencia del ion fosfato que compite con el glifosato por los sitios activos favoreciendo que este pueda ser degradado y que este en mayor cantidad en el agua (**Figura 6**) (Gimsing et al., 2004).

```

Residuals:
  Min      1Q  Median      3Q      Max
-741.7 -216.1 -108.3  351.0  559.8

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1148.96    143.63   7.999 0.0000912 ***
PC1           470.99     77.60   6.069 0.000506 ***
PC2            18.14    107.54   0.169 0.870819
PC3            40.50    114.88   0.353 0.734776
PC4          -442.90    134.62  -3.290 0.013302 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 497.5 on 7 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8723, Adjusted R-squared:  0.7993
F-statistic: 11.95 on 4 and 7 DF,  p-value: 0.003016

```

Figura 27. Modelo lineal para determinar la relación de las variables de la caracterización del agua con la concentración de glifosato.

8.2.4. Modelación matemática.

8.2.3.1. Precipitación y temperatura.

Se obtuvieron climogramas de cada una de las estaciones meteorológicas (**Figura 28**) establecidas en la **Tabla 11**. En estos gráficos se observa que en las 5 estaciones meteorológicas el mes de septiembre es el de mayor temperatura y que en mayo y junio son los meses en los que más llueve. Esto indica que en el periodo de invierno hay mayor concentración de glifosato que en las otras estaciones donde se realizaron los muestreo (primavera y verano), esto debido a que la temperatura y la lluvia favorecen, en temporada de calor, a que el glifosato se diluya y transporte más rápido que en temporada invernal.

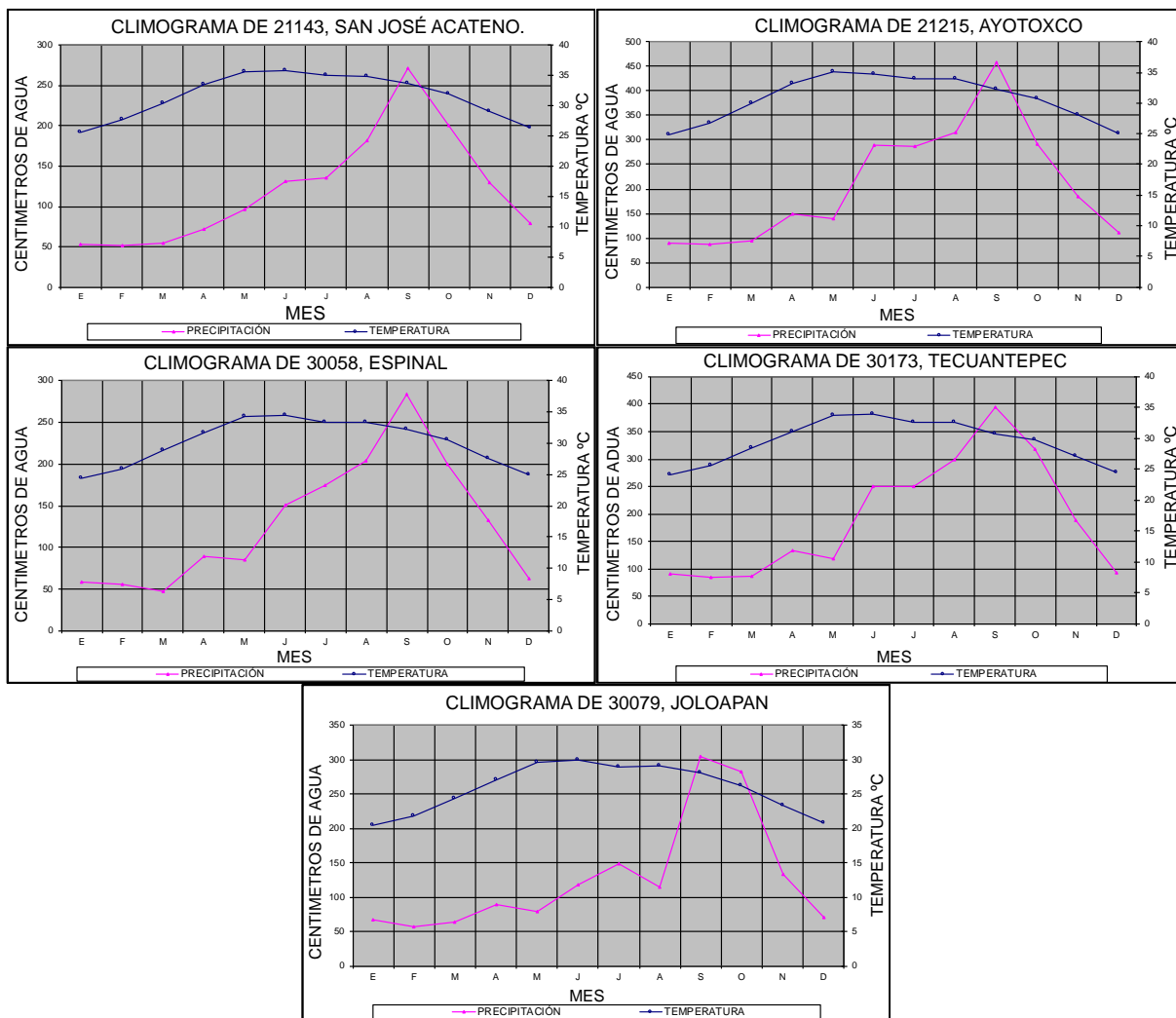


Figura 28. Climogramas de las estaciones meteorológicas aledañas al municipio de Tenampulco.

Con los datos de precipitación y temperatura se modeló mediante *Kriging ordinario* los mapas de isotermas (Figura 29) e isoyetas (Figura 30).

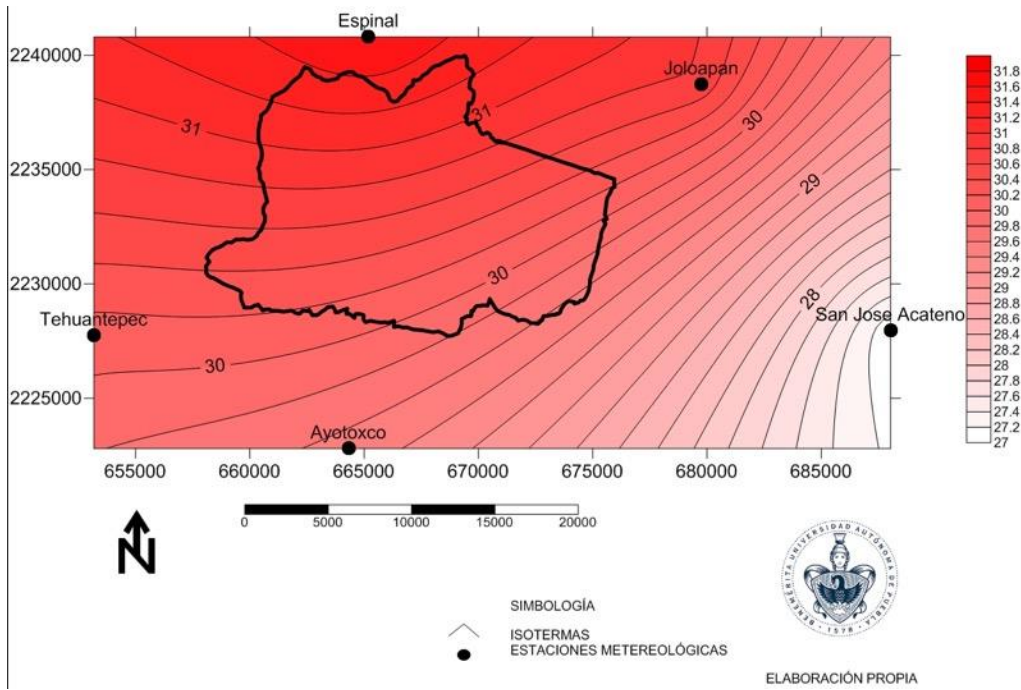


Figura 29. Mapa de isoterma del municipio de Tenampulco.

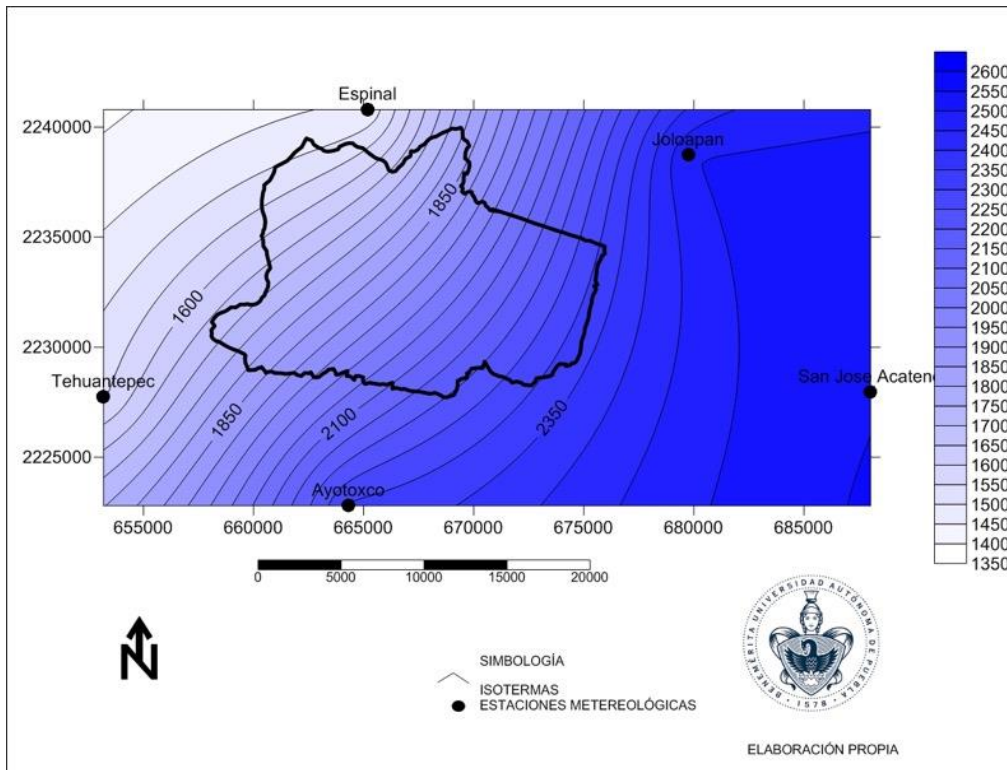


Figura 30. Mapa de isoyeta del municipio de Tenampulco.

8.2.3.2. Modelación de la exposición humana en la localidad de Tenampulco.

Para estimar los niveles de exposición en tiempo y espacio de la localidad de Tenampulco, se elaboraron reglas de pertenencia para cada uno de los puntos de muestreo donde se obtuvo una concentración por encima de los $0.1 \mu\text{g/L}$ (puntos de muestreo 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12).

Los conjuntos difusos utilizados en la elaboración del dominio del discurso “grado de exposición a glifosato por agua contaminada” fueron, “beber” (cantidad de agua que consume diariamente una persona), “alimentos” (volumen de agua que utiliza la población en preparar sus alimentos) y “bañarse” (la cantidad en litros de agua que utiliza una persona para bañarse). Los datos utilizados en cada uno de los conjuntos difusos fueron tomados a partir de los resultados de las encuestas (beber, **Figura 19**; alimentos, **Figura 20**; bañarse, **Figura 21**) y de la concentración de glifosato en cada uno de los puntos de muestreo determinada mediante inmunoensayo (**Tabla 20**). En la **Tabla 5** se muestran los descriptores lingüísticos para medir el grado de exposición.

Con los datos definidos se calculó el promedio de concentración para cada punto de muestreo, en la **Figura 31** se muestra, de manera general, el esquema del modelo de exposición con los conjuntos difusos de entrada, las reglas de pertenencia y el nivel de exposición.

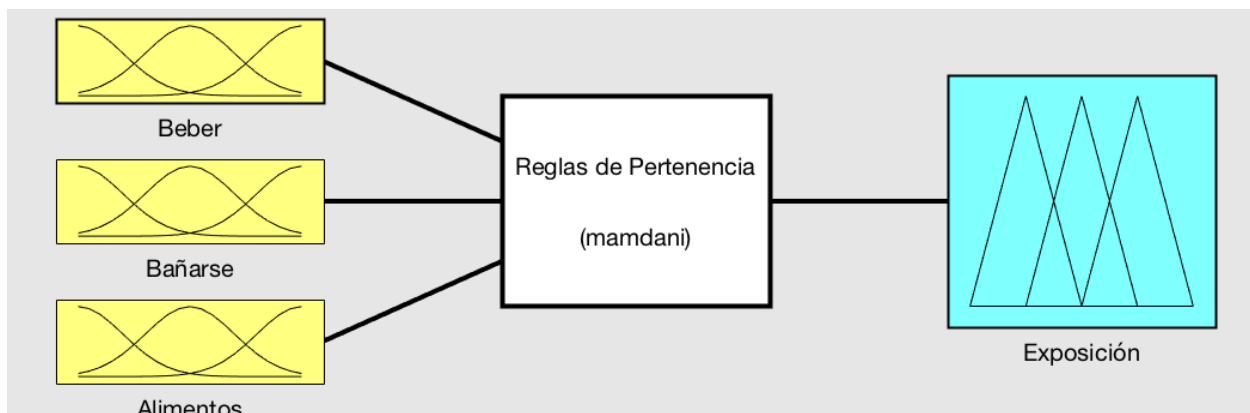


Figura 31. Esquema de los componentes para la modelación de la exposición (elaboración propia, 2019).

Para cada uno de los conjuntos difusos se establecieron los diferentes intervalos dependiendo del consumo en volumen de agua en cada una de las variables. En la **Figura 32** se muestran, respectivamente, los intervalos en litros del agua para beber, bañarse y alimentos, utilizados para la elaboración del modelo. Cada uno de estos valores de

volumen condicionan el nivel de exposición dependiendo de la concentración de glifosato que se encontró en los puntos de muestreo.

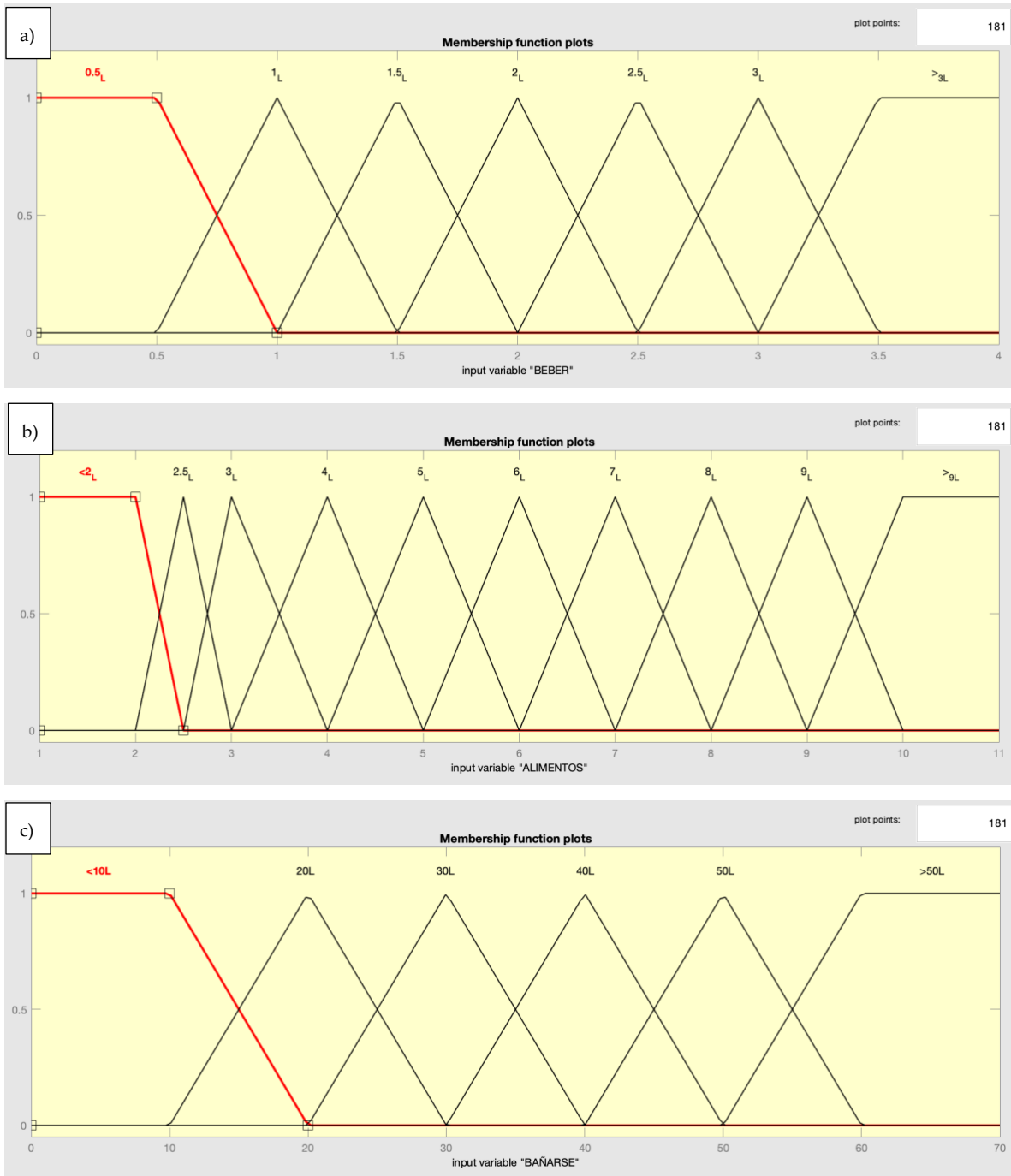


Figura 32. Conjuntos difusos de entrada, que indican los intervalos definidos (en litros) para cada una de las cantidades de agua usadas por la población de la localidad de Tenampulco; a) "beber", b) "alimentos" y c) "bañarse".

Para elaborar las reglas de pertenencia que servirán para estimar la exposición en cada uno de los puntos de muestreo es necesario obtener un promedio en las etapas donde se encontró el herbicida para calcular la cantidad, en μg total anual. Por ejemplo, para el caso del punto de muestreo 1, donde se obtuvo una concentración de $0.255 \mu\text{g/L}$ en el primer muestreo, $0.489 \mu\text{g/L}$ para el segundo muestreo y $1.434 \mu\text{g/L}$ en el tercer muestreo, el promedio final por litro de agua utilizada es de $0.73 \mu\text{g}$.

De esta forma se obtienen 420 de interacciones que se utilizarán para elaborar las reglas de pertenencias. Siguiendo el ejemplo del punto de muestreo 1 si una persona bebe 2 litros de agua ($1.45 \mu\text{g}$ de glifosato), consume 5 litros de agua por sus alimentos preparados ($3.63 \mu\text{g}$ de glifosato) y se baña con 20 litros de agua ($0.12 \mu\text{g}$ de glifosato absorbido) estará introduciendo $5.2 \mu\text{g}$ de glifosato a su organismo, por lo que su nivel de exposición, será alto. En la **Figura 33** se muestran las primeras 30 interacciones como parte de las reglas de pertenencia del punto de muestreo 1. Todos los puntos de muestreo donde hubo presencia del herbicida se les aplicó el mismo tratamiento del punto de muestreo ejemplificado.

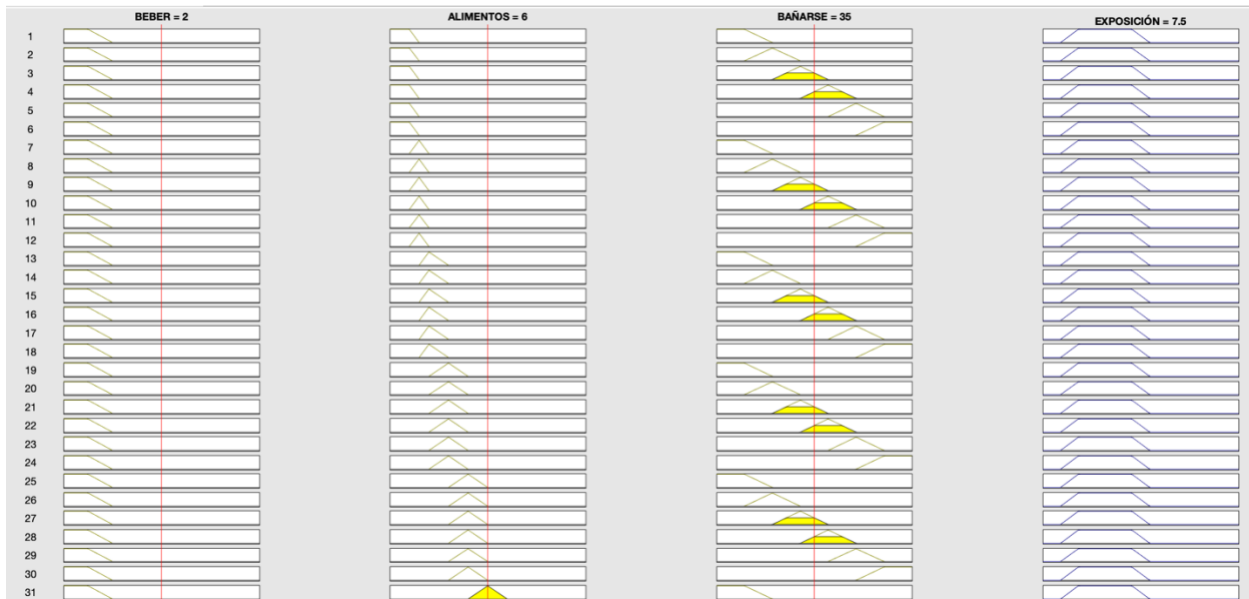


Figura 33. Primeras 30 interacciones (de 420 posibles) del conjunto de reglas de pertenencia para el punto de muestreo 1.

Finalmente, para obtener la exposición y como parte de las reglas de pertenencia, se establecieron los niveles de la **Tabla 5** como los descriptores lingüísticos de la variable de salida, en la **Figura 33** se muestra la aplicación de tales niveles en el modelo, en donde

los valores del dominio del discurso “exposición” están dados por la cantidad en μg de glifosato.

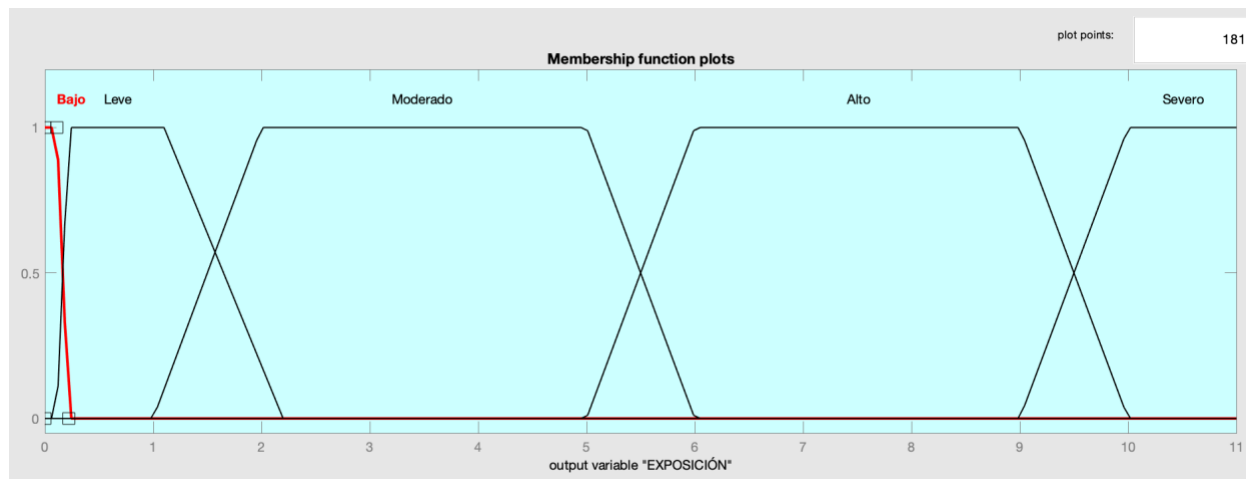


Figura 34. Funciones de pertenencia para estimar los niveles de exposición en la localidad de Tenampulco.

En el **ANEXO 3** se muestran los resultados de exposición en todos los puntos de muestreo dónde hubo presencia del herbicida, en ellos se observan la interacción de dos variables difusas (“beber” con “alimentos”, “beber” con “bañarse” y “alimentos” con “bañarse”) y el nivel de exposición que de ellas resulta. Como puede observarse en las figuras donde está presente la variable de “bañarse”, esta no afecta con el mismo peso en la exposición que las variables de “beber” y “alimentos” esto debido a que el porcentaje de glifosato que puede absorberse en la piel es mucho menor al de la cantidad total que es introducida al organismo directamente por vía oral, por lo que la interrelación de la cantidad de agua contaminada que utiliza la población para beber y para preparar sus alimentos son un mejor indicador en la exposición.

Los puntos de muestreo 6 y 12 mostraron un nivel de exposición de leve a moderado, estos niveles son más bajos que los demás puntos donde hubo presencia del herbicida. En los puntos de muestreo 1, 7, 8 y 10 se observó un nivel de exposición es de moderado a alto. Los puntos de muestreo con mayor nivel de exposición, de entre alto y severo, fueron el 3, 9 y 11. En los puntos de muestreo 9 y 11, se observó que, en casi todos los volúmenes de consumo de agua, el nivel de exposición está por encima de los $10 \mu\text{g}$, por lo que la exposición en esos sitios es severa, resaltando que en el punto 11 el agua no es utilizada para ninguna práctica, ni para irrigación ni consumo humano, no así el agua

de pozo del punto de muestreo 9 que es utilizada para prácticas agrícolas, por lo que el glifosato entra en un ciclo como el mencionado en la **Figura 1**.

De las 420 interacciones que se hicieron en cada punto de muestreo, se promediaron las cantidades totales, las cuales se muestran en la **Tabla 21**. Los cuatro puntos de muestreo provenientes de agua subterránea son usados para uso y consumo humano, por lo que estos puntos son los de mayor interés en cuanto a sus niveles de exposición, de esto puntos de muestreo solo uno tiene un nivel de exposición moderado y de los otros tres, dos tienen un nivel alto y el último severo, por lo que es notorio que las principales aguas de consumo humano están contaminadas con el herbicida con niveles de exposición preocupantes.

Tabla 21. Cantidades promedio de glifosato consumido por persona y día) en la localidad de Tenampulco en los puntos de muestreo donde hubo presencia del herbicida.

Punto de muestreo	Tipo de agua	Cantidad de glifosato consumido (μg)
1	Subterránea	5.76
3	Superficial	10.66
6	Escorrentía	0.88
7	Superficial	6.40
8	Subterránea	5.00
9	Subterránea	12.87
10	Superficial	6.12
11	Superficial	21.89
12	Subterránea	2.05

Si bien en la **Tabla 21** se muestran los valores promedio de las cantidades de consumo de la población, es importante resaltar el hecho de que dos terceras partes de la población beben más de 2 litros de agua al día (66 %), utilizan más de 5 litros de agua para preparar sus alimentos (65 %) y 81 % utiliza entre 20 y 30 litros de agua para bañarse, por lo que los niveles de exposición son superiores a los del promedio. En la **Tabla 22** se muestran los niveles de exposición en cuanto a las principales cantidades de agua consumida por la población de la localidad de Tenampulco, con base en los datos de los **ANEXO 2 y 3**.

Tabla 22. Niveles de exposición en cuanto los principales consumos de agua.

Punto de muestreo	Nivel de exposición
1	Alto
3	Severo
6	Moderado
7	Alto
8	Alto
9	Severo
10	Alto
11	Severo
12	Moderado

A partir de estos datos, en la **Figura 35** se observa la distribución en los diferentes puntos de muestreo de la localidad de Tenampulco y en la **Figura 36** se muestra la tendencia en tiempo (estaciones del año) de los puntos de muestreo donde hubo presencia de glifosato.

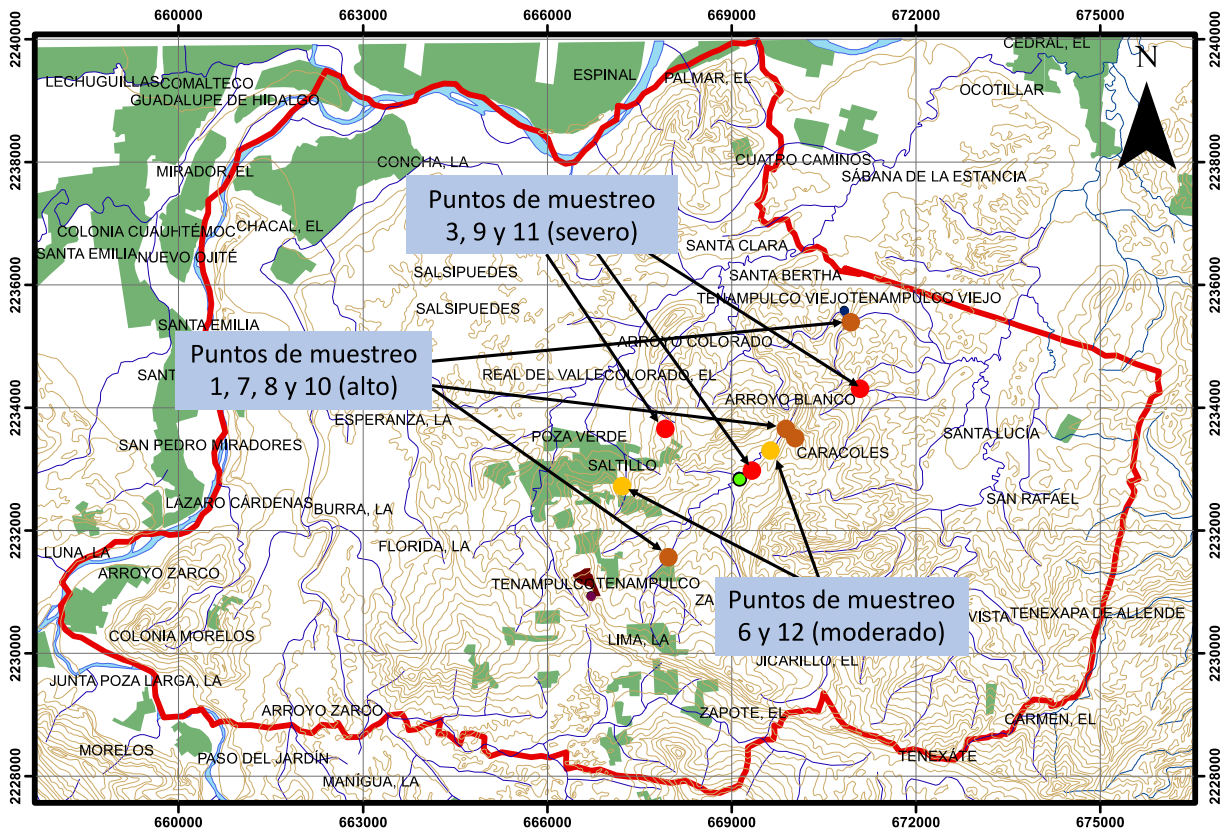


Figura 35. Distribución de los niveles de exposición en los diferentes puntos de muestreo de la localidad de Tenampulco (elaboración propia, 2019).

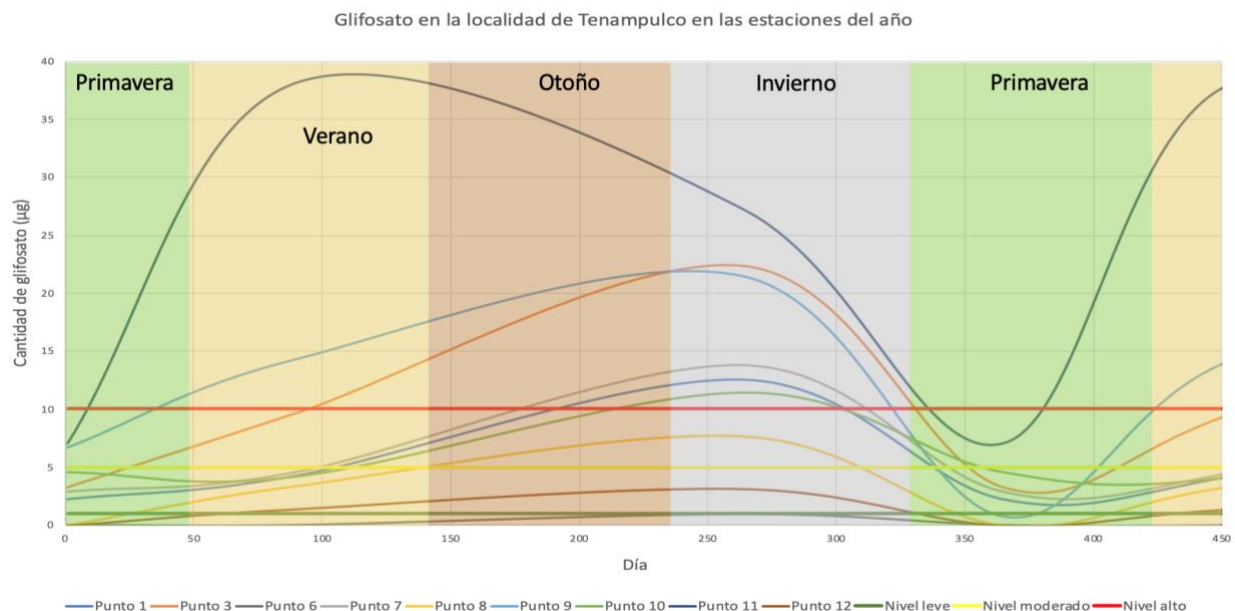


Figura 36. Distribución en las diferentes estaciones del año de la concentración en los puntos de muestreo donde hubo presencia de glifosato (elaboración propia, 2019).

Con lo anterior se puede decir que el 25 % de la población de la localidad de Tenampulco tiene un nivel de exposición bajo o nulo, 17 % con un nivel de exposición moderado, 33 % un nivel de exposición alto y finalmente 25 % de la población tiene un nivel de exposición severo.

El glifosato principalmente es usado en cultivos de maíz donde posteriormente es transportado hacia los reservorios, principalmente pozos, donde será usado por la población (Maqueda et al., 2017), aunado a que en condiciones de aguas subterráneas y de pocas precipitaciones puede persistir varios meses (Mercurio, Flores, Mueller, Carter, & Negri, 2014). Varios autores han reportado cantidades de glifosato semejante a lo determinado en esta investigación (Rendón-Von Osten & Dzul-Caamal, 2017; Van Stempvoort et al., 2016) pero la mayoría de los trabajos al respecto tratan la presencia de manera disciplinaria y evalúan las concentraciones a partir de las determinaciones solo de agua, suelo, aire o alimentos (F. chih Chang, Simcik, & Capel, 2011) sin tomar en cuenta el manejo y gestión de los mismos por parte de la población, pues con estos indicadores se puede tener una aproximación más real de las cantidades que pueden ser ingeridas por humanos o expuestas a otros organismos no dianas.

Cabe resaltar que las concentraciones encontradas pueden alterar los diferentes ecosistemas, propiciando pérdida de biodiversidad y exposición ciertos organismos,

desencadenando problemas mayores en la descomposición y ciclos de nutrientes, tal es el caso de microorganismos del suelo, peces, lombrices e incluso aves e insectos, como las abejas (Villeneuve et al., 2011; von Mérey et al., 2016). Al pasar a otros compartimentos ambientales como el aire, el glifosato puede provocar patologías pulmonares en humanos, como asma (S. Kumar et al., 2014).

Debido al uso creciente alrededor del mundo y estudios epidemiológicos en humanos y animales, se ha sugerido por diversos autores que la exposición por glifosato esta relacionada con enfermedades como cáncer de mama y próstata, genotoxicidad y estrés oxidativo (Guyton et al., 2015). Por lo anterior, diversas instituciones han hecho énfasis en el monitoreo de la presencia de glifosato, no solo en el ambiente, sino en organismos que ayuden a dimensionar la problemática en el incremento de su presencia y las diversas alteraciones producidas (Myers et al., 2016).

IX. CONCLUSIONES.

La metodología de inmunoensayo mostró un buen desempeño para la determinación de glifosato en los tres periodos de análisis. Con esta técnica fue posible determinar la presencia y distribución de glifosato en tiempo y espacio encontrando que en el primer muestreo la mitad de las muestras hubo presencia del herbicida, en el segundo muestreo dos terceras partes y finalmente en el tercer muestreo un 75 % de los puntos de muestreo hubo presencia del herbicida en concentraciones superiores a los 0.1 µg/L, pero en ninguno de los casos estuvo por encima de los 10 µg/L que es lo estipulado por la normatividad vigente para agua de consumo humano en la república mexicana.

Factores como la precipitación y la temperatura pueden influir en la presencia de glifosato en agua, ya que, se observó que, en el periodo de invierno, cuando la temperatura y las precipitaciones son menores se encontró mayor cantidad del herbicida.

Se observó que las prácticas agrícolas influyen en la contaminación del recurso hídrico, pues todas las muestras de agua están contaminadas por compuestos recalcitrantes que no son fácilmente degradables y que disminuyen su calidad. También se encontraron concentraciones de fosfatos en varias de las muestras, lo cual es un indicativo del uso intensivo de fertilizantes, provocando la competencia con el glifosato

en el suelo y propiciando su fácil transporte hacia los cuerpos de agua y que así pueda estar distribuido en la localidad.

El manejo de los agroquímicos en la localidad no es el óptimo, pues las medidas de seguridad y de aplicación por parte de los trabajadores agrícolas es deficiente y en muchos casos no cumplen con las especificaciones mínimas reportadas en el etiquetado. De igual forma no existen contenedores para la disposición final de los envases vacíos y mucho menos programas de recolección de los mismos por parte de las autoridades, por lo que la mayor parte de la población quema dichos envases, la cual es práctica que no es recomendada. En cuanto al manejo del agua, el 80 % de la población utiliza agua proveniente de pozos que en su mayoría están contaminados no solo con el herbicida sino con otras sustancias que pueden tener efectos adversos a la salud, si bien dos terceras partes de la población hierve el agua como método de purificación, este muchas veces es insuficiente debido a que el punto de ebullición de muchas sustancias y del glifosato está por encima de la temperatura que puede llegar el agua al ser hervida.

Mediante la modelación por lógica difusa se determinó que de los 12 puntos de muestreo 9 tienen un nivel de exposición moderado o superior, de estos 9 puntos de muestreo el 78 % tiene niveles de exposición entre alto y severo. A partir de los puntos de muestreo, el manejo del agua contaminada con glifosato y de las concentraciones encontradas, en general, la localidad de Tenampulco tiene un nivel de exposición alto, pues la cantidad promedio diaria consumida es de aproximadamente 7 µg.

X. PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES

Para mitigar y/o minimizar los niveles de contaminación, conservar y proteger los ecosistemas acuáticos, es necesaria la acción contundente y firme de las autoridades competentes, a nivel nacional, regional y local, con legislación y normas claras que integren a todos los sectores de la población para su buen entendimiento y correcta aplicación.

En este trabajo se resalta la importancia en la implementación de un fuerte programa de monitoreo que sirva como herramienta para el diagnóstico integral de la problemática asociada al uso de glifosato y agroquímicos en general, y que sea utilizado para mitigar los daños a la salud y en los ecosistemas.

A manera de recomendación y con lo determinado con el modelo de exposición, la población debe tomar medidas pertinentes en sus prácticas de manejo del agua, como son el uso de filtros y procesos de purificación, evitar el consumo directo del agua proveniente de pozos en ciertas temporadas del año y de las ubicaciones con mayor riesgo por exposición. Los agricultores juegan un rol muy importante, pues se deben hacer partícipes e informarse con programas de aplicación, manejo y disposición de plaguicidas, una alternativa es el uso de prácticas convencionales para controlar el crecimiento de plantas no deseadas (sin plaguicidas) en periodos de tiempo donde la aplicación de glifosato puede alterar las condiciones del agua y aumentar el riesgo por exposición de la población. Finalmente, se han determinado diversas técnicas de disipación (biofilms, nanocompositos, filtración de agua por nanomateriales) que ayuda a disminuir la concentración y carga de glifosato en el ambiente y por consiguiente asegurar la salud del hombre y los ecosistemas.

XI. REFERENCIAS

- Aboites-Aguilar, L., Birrichaga-Gardida, D., & Garay-Trejo, J. A. (2010). El manejo de las aguas mexicanas en el siglo XX. In *El agua en México: cauces y encauces* (pp. 21–50). México, D. F: Academia Mexicana de Ciencias.
- Alcántara-de la Cruz, R., Rojano-Delgado, A. M., Giménez, M. J., Cruz-Hipolito, H. E., Domínguez-Valenzuela, J. A., Barro, F., & De Prado, R. (2016). First Resistance Mechanisms Characterization in Glyphosate-Resistant *Leptochloa virgata*. *Frontiers in Plant Science*, 7(November), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01742>
- Alibhai, M. F., & Stallings, W. C. (2001). Closing down on glyphosate inhibition--with a new structure for drug discovery. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(6), 2944–2946. <https://doi.org/10.1073/pnas.061025898>
- Alonso, L. L., Demetrio, P. M., Agustina Etchegoyen, M., & Marino, D. J. (2018). Glyphosate and atrazine in rainfall and soils in agroproductive areas of the pampas region in Argentina. *Science of the Total Environment*, 645, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.134>
- Amrhein, N., Deus, B., Gehrke, P., & Steinrucken, H. C. (1980). The Site of the Inhibition of the Shikimate Pathway by Glyphosate: II. INTERFERENCE OF GLYPHOSATE WITH CHORISMATE FORMATION IN VIVO AND IN VITRO. *Plant Physiology*, 66(5), 830–834. <https://doi.org/10.1104/pp.66.5.830>
- Annetta, R., Habibib, H. R., & Hontelaa, A. (2014). Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides

- on the freshwater environment. *Journal of Applied Toxicology*, 34, 458–479. <https://doi.org/10.1002/jat.2997>
- Arroyo, B. (2017). La Lógica Difusa como herramienta de evaluación en el Sector Universitario. *Alteridad*, 10(2), 132. <https://doi.org/10.17163/alt.v10n2.2015.01>
- Arul-Selvi, A., Sreenivasa, M. A., & Manonmani, H. K. (2011). Enzyme-linked immunoassay for the detection of glyphosate in food samples using avian antibodies. *Food and Agricultural Immunology*, 22(3), 217–228. <https://doi.org/10.1080/09540105.2011.553799>
- Avigliano, L., Alvarez, N., Loughlin, C. Mac, & Rodríguez, E. M. (2014). Effects of glyphosate on egg incubation, larvae hatching, and ovarian rematuration in the estuarine crab *Neohelice granulata*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(8), 1879–1884. <https://doi.org/10.1002/etc.2635>
- Baird, D., Upchurch, R., Homesley, W., & Franz, J. (1971). Introduction of a new broad spectrum post emergence herbicide class with utility for herbaceous perennial weed control. In *Proceedings of the 26th North Central Weed Conference* (pp. 64–68). Kansas City.
- Bataller, R., Campos, I., Laguarda-Miro, N., Alcañiz, M., Soto, J., Martínez-Mañez, R., ... Ibáñez-Civera, J. (2012). Glyphosate detection by means of a voltammetric electronic tongue and discrimination of potential interferents. *Sensors (Switzerland)*, 12(12), 17553–17568. <https://doi.org/10.3390/s121217553>
- Becerril, J. E. (2009). Contaminantes emergentes en el agua. *Rev. Digit UNAM.*, 10(8), 1067–6079. <https://doi.org/10.2225/vol14-issue6-fulltext-8>
- Benbrook, C. M. (2016). Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*, 28(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0070-0>
- Bettazzi, F., Romero Natale, A., Torres, E., & Palchetti, I. (2018). Glyphosate Determination by Coupling an Immuno-Magnetic Assay with Electrochemical Sensors. *Sensors*, 18(9), 2965. <https://doi.org/10.3390/s18092965>
- Borggaard, O. K., & Gimsing, A. L. (2008). Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. *Pest Management Science*, 64, 441–456.
- Börjesson, E., & Torstensson, L. (2000). New methods for determination of glyphosate and (aminomethyl)phosphonic acid in water and soil ". *Journal of Chromatography A*, 886, 207–216.
- Botero-Coy, A. M., Ibáñez, M., Sancho, J. V., & Hernández, F. (2013). Direct liquid chromatography-tandem mass spectrometry determination of underivatized glyphosate in rice, maize and soybean. *Journal of Chromatography A*, 1313, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.07.037>
- Burke, I. C., & Bell, J. L. (2014). Plant Health Management: Herbicides. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 4–5.
- Bus, J. S. (2015). Analysis of Moms Across America report suggesting bioaccumulation of glyphosate in U.S. mother's breast milk: Implausibility based on inconsistency with available body of glyphosate animal toxicokinetic, human biomonitoring, and physico-chemical data. *Regulatory Toxicology and*

Pharmacology, 73(3), 758–764. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.10.022>

- Bus, J. S. (2017). IARC use of oxidative stress as key mode of action characteristic for facilitating cancer classification: Glyphosate case example illustrating a lack of robustness in interpretative implementation. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 86, 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.03.004>
- Byer, J. D., Struger, J., Klawunn, P., Todd, A., & Sverko, E. (2008). Low Cost Monitoring of Glyphosate in Surface waters Using the ELSA Method An Evaluation. *Environmental Science & Technology*, 42(16), 6052–6057. <https://doi.org/10.1021/es8005207>
- Ccancapa, A., Masiá, A., Andreu, V., & Picó, Y. (2016). Spatio-temporal patterns of pesticide residues in the Turia and Júcar Rivers (Spain). *Science of the Total Environment*, 540, 200–210. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.063>
- Çetin, E., Şahan, S., Ülgen, A., & Şahin, U. (2017). DLLME-spectrophotometric determination of glyphosate residue in legumes. *Food Chemistry*, 230(March), 567–571. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.063>
- Chang, F. chih, Simcik, M. F., & Capel, P. D. (2011). Occurrence and fate of the herbicide glyphosate and its degradate aminomethylphosphonic acid in the atmosphere. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(3), 548–555. <https://doi.org/10.1002/etc.431>
- Chang, Y., Zhang, Z., Hao, J., Yang, W., & Tang, J. (2016). A simple label free colorimetric method for glyphosate detection based on the inhibition of peroxidase-like activity of Cu(II). *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 228, 410–415. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.01.048>
- Claude, B., Berho, C., Bayouhd, S., Amalric, L., Coisy, E., Nehmé, R., & Morin, P. (2017). Preliminary recovery study of a commercial molecularly imprinted polymer for the extraction of glyphosate and AMPA in different environmental waters using MS. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(13), 12293–12300. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8844-5>
- COFEPRIS. (2016). Catálogo Oficial de Plaguicidas.
- Colbach, N., Fernier, A., Le Corre, V., Messéan, A., & Darmency, H. (2017). Simulating changes in cropping practises in conventional and glyphosate-tolerant maize. I. Effects on weeds. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(12), 11582–11600. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8591-7>
- Comisión Nacional del Agua. (2018). *Estadísticas del Agua en México 2018*. Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Connolly, A., Jones, K., Galea, K. S., Basinas, I., Kenny, L., McGowan, P., & Coggins, M. (2017). Exposure assessment using human biomonitoring for glyphosate and fluroxypyr users in amenity horticulture. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(6), 1064–1073. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.06.008>
- Coupe, R. H., Kalkhoff, S. J., Capel, P. D., & Gregoire, C. (2012). Fate and transport of glyphosate and

- aminomethylphosphonic acid in surface waters of agricultural basins. *Pest Management Science*, 68(1), 16–30. <https://doi.org/10.1002/ps.2212>
- D’Negri, C. E., & De Vito, E. L. (2006). Introducción al razonamiento aproximado: lógica difusa. *Revista Americana de Medicina Respiratoria*, 6(3), 126–136. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382138367007%0ACómo>
- ECHA. (2017). Glyphosate not classified as a carcinogen by ECHA. Retrieved from <https://echa.europa.eu/-/glyphosate-not-classified-as-a-carcinogen-by-echa>
- Echemendía-Tocabens, B. (2011). Definiciones acerca del riesgo y sus implicaciones. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 49(3), 470–481.
- EFSA. (2015). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance glyphosate. *EFSA Journal*, 13(11), 4302. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4302>
- Ehling, S., & Reddy, T. M. (2015). Analysis of Glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid in Nutritional Ingredients and Milk by Derivatization with Fluorenylmethyloxycarbonyl Chloride and Liquid Chromatography-Mass Spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(48), 10562–10568. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04453>
- Evenson, R. E., & Gollin, D. (2003). Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science*, 300(5620), 758–762.
- Fan, J. Y., Geng, J. J., Ren, H. Q., Wang, X. R., & Han, C. (2013). Herbicide Roundup® and its main constituents cause oxidative stress and inhibit acetylcholinesterase in liver of *Carassius auratus*. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 48(10), 844–850. <https://doi.org/10.1080/03601234.2013.795841>
- FAO. (2011). *The state of the world’s land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. <https://doi.org/978-1-84971-326-9>
- Flores Payán, L., & Camarena Luhrs, M. (2013). Evaluación de programas públicos en el marco de la realidad social. Metodología basada en la lógica difusa como instrumento para el análisis de fenómenos sociales. *Revista Latinoamericana de Metodología de La Investigación Social*, (5), 8–23.
- Gasnier, C., Dumont, C., Benachour, N., Clair, E., Chagnon, M. C., & Séralini, G. E. (2009). Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines. *Toxicology*, 262(3), 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.06.006>
- Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., van der Ploeg, M., ... Ritsema, C. J. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>
- Gil, M. J., Soto, M. A., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas , efectos y posibles tratamientos. *Producción Mas Limpia*, 7(2), 52–73. <https://doi.org/10.1016/j.ijans.2014.05.002>
- Gimsing, A. L., Borggaard, O. K., & Bang, M. (2004). Influence of soil composition on adsorption of

- glyphosate and phosphate by contrasting Danish surface soils. *European Journal of Soil Science*, 55(1), 183–191. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2003.00585.x>
- Gimsing, A. L., Szilas, C., & Borggaard, O. K. (2007). Sorption of glyphosate and phosphate by variable-charge tropical soils from Tanzania. *Geoderma*, 138(1–2), 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.11.001>
- Gómez, J. G. (1998). Conjuntos y Sistemas Difusos. *Departamento de Lenguajes y Ciencias de La Computación Universidad de Málaga*.
- Grandcoin, A., Piel, S., & Baurès, E. (2017). AminoMethylPhosphonic acid (AMPA) in natural waters: Its sources, behavior and environmental fate. *Water Research*, 117, 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.055>
- Grimalt, S., & Dehouck, P. (2016). Review of analytical methods for the determination of pesticide residues in grapes. *Journal of Chromatography A*, 1433, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.12.076>
- Grunewald, K., Schmidt, W., Unger, C., & Hanschmann, G. (2001). Behavior of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in soils and water of reservoir Radeburg II catchment (Saxony/Germany). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164(1), 65–70. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200102\)164:1<65::AID-JPLN65>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200102)164:1<65::AID-JPLN65>3.0.CO;2-G)
- Guerrero Schimpf, M., Milesi, M. M., Ingaramo, P. I., Luque, E. H., & Varayoud, J. (2017). Neonatal exposure to a glyphosate based herbicide alters the development of the rat uterus. *Toxicology*, 376, 2–14. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2016.06.004>
- Guillén, D., Ginebreda, A., Darbra, R. M., Gros, M., Petrovic, M., & Barceló, D. (2013). Characterization of Environmental Exposure: Measuring Versus Modeling. In B. Bilitewski, R. M. Darbra, & D. Barceló (Eds.), *Global Risk-Based Management of Chemical Additives II: Risk-Based Assessment and Management Strategies* (pp. 25–46). London: Springer Berlin Heidelberg.
- Guyton, K. Z., Loomis, D., Grosse, Y., El Ghissassi, F., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., ... Straif, K. (2015). Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. *The Lancet Oncology*, 16(5), 490–491. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)70134-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)70134-8)
- Health Canada. (1995). Guidelines for Canadian drinking water quality: guideline technical document - Glyphosate, 1–5. Retrieved from <http://health.canada.ca/publications/healthy-living-vie-saine/water-glyphosate-eau/alt/water-glyphosate-eau-eng.pdf>
- Herrera Moreno, J. F., Pérez Herrera, N. É., Medina Díaz, I. M., Benitez Trinidad, A. B., Rojas García, A. E., Bernal Hernández, Y. Y., ... González Arias, C. A. (2018). Factores De Riesgo De Exposición Durante El Manejo Y Uso De Plaguicidas En Fumigadores Urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(esp02), 33–44. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.esp02.03>
- Hoagland, R. E., & Duke, S. O. (1982). Biochemical Effects of Glyphosate [N-(Phosphonomethyl)Glycine]. *American Chemical Society*, 181, 175–205. Retrieved from http://apps.isiknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=6&

SID=R2n12OJh44IoiBfHh8k&page=34&doc=334

- Hu, J. Y., Chen, C. L., & Li, J. Z. (2008). A simple method for the determination of glyphosate residues in soil by capillary gas chromatography with nitrogen phosphorus. *Journal of Analytical Chemistry*, 63(4), 371–375. <https://doi.org/10.1007/s10809-008-4010-z>
- IARC. (2015). *IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon.
- Ibrahim, A. M., & Sayed, D. A. (2019). Toxicological impact of oxyfluorfen 24% herbicide on the reproductive system, antioxidant enzymes, and endocrine disruption of *Biomphalaria alexandrina* (Ehrenberg, 1831) snails. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(8), 7960–7968. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04251-w>
- INAFED. (2015). Tenampulco. Retrieved from <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21158a.html>
- INEGI. (2016). *Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2016*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2017* (Vol. 317.2). Puebla: INEGI.
- Jana, Y.-H., Richardsona, J. R., Bakera, A. A., Mishinb, V., Heckc, D. E., Laskinb, D. L., & Laskin, J. D. (2015). Vitamin K3 (menadione) redox cycling inhibits cytochrome P450-mediated metabolism and inhibits parathion intoxication. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 288(1), 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2015.07.023>
- Jaworski, E. G. (1972). Mode of Action of N-Phosphonomethylglycine: Inhibition of Aromatic Amino Acid Biosynthesis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 20(6), 1195–1198.
- Kishore, G. M., & Shah, D. M. (1988). Amino acid biosynthesis inhibitors as herbicides. *Annual Review of Biochemistry*, 57(2), 627–663. <https://doi.org/10.1146/annurev.biochem.57.1.627>
- Kumar, P. S., & Pavithra, K. G. (2019). *Environmental Water Footprints*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2454-3>
- Kumar, S., Khodoun, M., Kettleson, E. M., McKnight, C., Reponen, T., Grinshpun, S. A., & Adhikari, A. (2014). Glyphosate-rich air samples induce IL-33, TSLP and generate IL-13 dependent airway inflammation. *Toxicology*, 325, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2014.08.008>
- Larsen, K., Najle, R., Lifschitz, A., Maté, M. L., Lanusse, C., & Virkel, G. L. (2014). Effects of sublethal exposure to a glyphosate-based herbicide formulation on metabolic activities of different xenobiotic-metabolizing enzymes in rats. *International Journal of Toxicology*, 33(4), 307–318. <https://doi.org/10.1177/1091581814540481>
- Lupi, L., Bedmar, F., Puricelli, M., Marino, D., Aparicio, V. C., Wunderlin, D., & Miglioranza, K. S. B. (2019). Glyphosate runoff and its occurrence in rainwater and subsurface soil in the nearby area of agricultural fields in Argentina. *Chemosphere*, 225, 906–914. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.090>

- Machado, S. C., & Martins, I. (2018). Risk assessment of occupational pesticide exposure: Use of endpoints and surrogates. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 98, 276–283. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2018.08.008>
- Malone, M., & Foster, E. (2019). A mixed-methods approach to determine how conservation management programs and techniques have affected herbicide use and distribution in the environment over time. *Science of the Total Environment*, 660, 145–157. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.266>
- Mamy, L., & Barriuso, E. (2005). Glyphosate adsorption in soils compared to herbicides replaced with the introduction of glyphosate resistant crops. *Chemosphere*, 61(6), 844–855. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.04.051>
- Maqueda, C., Undabeytia, T., Villaverde, J., & Morillo, E. (2017). Behaviour of glyphosate in a reservoir and the surrounding agricultural soils. *Science of the Total Environment*, 593–594, 787–795. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.202>
- Mays, L. W. (2012). Hydrology, climate change, and sustainability. In L. W. Mays (Ed.), *Ground and surface water hydrology*. John Wiley & Sons.
- Menchen, A., Heras, J. D. las, & Alday, J. J. G. (2017). Pesticide contamination in groundwater bodies in the Júcar River European Union Pilot Basin (SE Spain). *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(4). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5827-4>
- Mensah, P. K., Palmer, C. G., & Odume, O. N. (2015). Ecotoxicology of Glyphosate and Glyphosate-Based Herbicides – Toxicity to Wildlife and Humans. In M. L. Larramendy & S. Soloneski (Eds.), *Toxicity and Hazard of Agrochemicals* (pp. 93–112). IntechOpen. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/60767>
- Mercurio, P., Flores, F., Mueller, J. F., Carter, S., & Negri, A. P. (2014). Glyphosate persistence in seawater. *Marine Pollution Bulletin*, 85(2), 385–390. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.021>
- Mertens, M., Höss, S., Neumann, G., Afzal, J., & Reichenbecher, W. (2018). Glyphosate, a chelating agent—relevant for ecological risk assessment? *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), 5298–5317. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1080-1>
- Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá: MPS y MAVDT, 2007. (Resolución 2115 de 2007). (2007).
- Monsanto. (2019). FAENA® FUERTE. Retrieved from http://dunemexicali.com.mx/archivos/AGROQUIMICOS/PROTECCION_DE_CULTIVOS/CONVENCIONALES/HERBICIDAS/MONSATO/FAENA_FUERTE_360/FAENA_FUERTE_360_HT.pdf
- Montiel-León, J. M., Muñoz, G., Vo Duy, S., Do, D. T., Vaudreuil, M. A., Goery, K., ... Sauvé, S. (2019). Widespread occurrence and spatial distribution of glyphosate, atrazine, and neonicotinoids pesticides in the St. Lawrence and tributary rivers. *Environmental Pollution*, 250, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.125>

- Morán, D., Escolero, Ó., & Alcocer, J. (2005). *El agua en México vista desde la Academia. El agua en México vista desde la academia.*
- Morgana, M. A., Griffiths, C. M., Dinges, M. M., Lyona, Y. A., Juliana, R. R., & Larive, C. K. (2019). Evaluating sub-lethal stress from Roundup® exposure in *Artemia franciscana* using ¹H NMR and GC-MS. *Aquatic Toxicology*, 212, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.04.023>
- Mortensen, D. A., Egan, J. F., Maxwell, B. D., Ryan, M. R., & Smith, R. G. (2012). Navigating a Critical Juncture for Sustainable Weed Management. *BioScience*, 62(1), 75–84. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.12>
- Mörtl, M., Németh, G., Juracek, J., Darvas, B., Kamp, L., Rubio, F., & Székács, A. (2013). Determination of glyphosate residues in Hungarian water samples by immunoassay. *Microchemical Journal*, 107, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.05.021>
- Müller, K., Tiktak, A., Dijkman, T. J., Green, S., & Clothier, B. (2014). Advances in Pesticide Risk Reduction. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 17–34. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00242-4>
- Myers, J. P., Antoniou, M. N., Blumberg, B., Carroll, L., Colborn, T., Everett, L. G., ... Benbrook, C. M. (2016). Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: A consensus statement. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 15(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0117-0>
- NORMAN. (2016). Emerging substances | NORMAN. Retrieved from <http://www.normandata.eu/?q=node/19>
- OECD. (2001). Ready Biodegradability. *OECD Guideline for Testing of Chemicals*, (December), 1–26.
- OECD. (2012). *Environmental Outlook to 2050*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264122246-en>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Sampling Techniques on a Population Study. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Paganelli, A., Gnazzo, V., Acosta, H., Lo, S. L., & Carrasco, E. (2010). Glyphosate-Based Herbicides Produce Teratogenic Effects on Vertebrates by Impairing Retinoic Acid Signaling, 1586–1595. <https://doi.org/10.1021/tx1001749>
- Palomares, A. E. (2013). Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento. Retrieved from <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento>
- Pérez-López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(3), 3. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Phillips, R. L. (2014). Green Revolution: Past, Present, and Future. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 3, 529–538. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00208-4>
- PNUMA. (2007). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial – medio ambiente para el desarrollo (GEO-4)*.

PNUMA.

PNUMA. (2012). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial – medio ambiente para el desarrollo (GEO-5)*. PNUMA.

Programa Regulatorio Agrícola. (2013). Recursos para agricultores: nitrato en el agua potable. *California Water Boards*, 1–4.

Ramrakhiani, L., Ghosh, S., Mandal, A. K., & Majumdar, S. (2019). Utilization of multi-metal laden spent biosorbent for removal of glyphosate herbicide from aqueous solution and its mechanism elucidation. *Chemical Engineering Journal*, 361(December 2018), 1063–1077. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.12.163>

Rendón-Von Osten, J., & Dzul-Caamal, R. (2017). Glyphosate residues in groundwater, drinking water and urine of subsistence farmers from intensive agriculture localities: A survey in Hopelchén, Campeche, Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph14060595>

Restrepo, I. (1988). Naturaleza muerta. In *Los plaguicidas en México* (pp. 40–50). Revista Ciencias. UNAM.

Ribeiro Marques, M., Henrique Pereira, J., Oliveira, J., Augusto Basso, L., Filgueira de Azevedo, W., Santiago Santos, D., & Sergio Palma, M. (2007). The Inhibition of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate Synthase as a Model for Development of Novel Antimicrobials. *Current Drug Targets*, 8(3), 445–457. <https://doi.org/10.2174/138945007780058951>

Richard, S., Moslemi, S., Sipahutar, H., Benachour, N., & Seralini, G. E. (2005). Differential effects of glyphosate and roundup on human placental cells and aromatase. *Environmental Health Perspectives*, 113(6), 716–720. <https://doi.org/10.1289/ehp.7728>

Rodríguez Zamora, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. *Revista Pensamiento Actual*, 9(12), 125 a 134. Retrieved from <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/viewFile/2842/2764>

Rubio, F., Veldhuis, L. J., Clegg, B. S., Fleeker, J. R., & Hall, J. C. (2003). Comparison of a direct ELISA and an HPLC method for glyphosate determinations in water. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3), 691–696. <https://doi.org/10.1021/jf020761g>

Ruiz-Toledo, J., Castro, R., Rivero-Pérez, N., Bello-Mendoza, R., & Sánchez, D. (2014). Occurrence of glyphosate in water bodies derived from intensive agriculture in a tropical region of southern Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 93(3), 289–293. <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1328-0>

SAGARPA. “PLAN DE MANEJO Y RECOLECCIÓN DE ENVASES VACÍOS DE PLAGUICIDAS ” (PLAMREVP)” (2012). Retrieved from <http://www.cesaveq.org.mx/cesa3/page/dctos/inocuidad/plamrevp.pdf>

- Salazar-López, Norma J, Gramont, M. I. S., Floriano, F. G. Z., Olibarría, G. R., Hengel, M., & Madrid, M. L. A. (2016). Dissipation of glyphosate from grapevine soils in Sonora , Mexico. *Terra Latinoamericana*, 34, 385–391.
- Salazar-López, Norma Julieta, & Aldana-Madrid, M. L. (2011). Herbicida Glifosato: Usos, Toxicidad Y Regulación Glyphosate Herbicide: Uses, Toxicity and Regulation. *Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud*, 13(2), 23–28. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212002000300005>
- Sanchís, J., Kantiani, L., Llorca, M., Rubio, F., Ginebreda, A., Fraile, J., ... Farré, M. (2012). Determination of glyphosate in groundwater samples using an ultrasensitive immunoassay and confirmation by on-line solid-phase extraction followed by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 402(7), 2335–2345. <https://doi.org/10.1007/s00216-011-5541-y>
- Santana, R. (2017). Mayas de Campeche denuncian siembra y venta de soya transgénica de Monsanto. *Proceso*.
- Schuette, J. (1998). Environmental fate of glyphosate. *Environmental Monitoring & Pest Management - Department of Pesticide Regulation, Sacramento*, 13 p. <https://doi.org/10.1007/s11144-016-1109-3>
- SE. (2001). NMX-AA-028-SCFI-2001. Determinación De La Demanda Bioquímica De Oxígeno En Aguas Naturales, Residuales (Dbo5) Y Residuales Tratadas. *Diario Oficial de La Federación*, 16. Retrieved from <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-029-SCFI-2001.pdf>
- Secretaría de Salud. (1995). NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de La Federación*, 1–71.
- SEGOB. (1998). NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. *Diario Oficial de La Federación*, 1–6.
- SEGOB. (2004). Reglamento de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. *Diario Oficial de La Federación*, DOF: 02/05, 1–11. Retrieved from http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5435643&fecha=02/05/2016
- SEGOB. (2012). NOM-047-SSA1-2011, Salud ambiental-Índices biológicos de exposición para el personal ocupacionalmente expuesto a sustancias químicas. *Diario Oficial de La Federación*, DOF: 02/05, 1–15. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00336>
- SEGOB. (2014). PROY NOM-250-SSA1-2014, Agua para uso y consumo humano. Límites máximos permisibles de la calidad del agua y requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados, su control y vigilancia. Procedimiento sanitario. *Diario Oficial de La Federación*. Retrieved from http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5435643&fecha=02/05/2016
- SEGOB. (2015). NOM-201-SSA1-2015. Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano,

envasados y a granel. Especificaciones sanitarias. *Diario Oficial de La Federación*. Retrieved from http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5420977&fecha=22/12/2015

SEMARNAT-CONAFOR. (2013). *Inventario Estatal Forestal y de Suelos Puebla 2013* (1st ed.). SEMARNAT-CONAFOR.

Shankani Gunarathna, Buddhika Gunawardana, Mahesh Jayaweera, J. M. & K. Z. (2018). Glyphosate and AMPA of agricultural soil, surface water, groundwater and sediments in areas prevalent with chronic kidney disease of unknown etiology, Sri Lanka. *Journal of Environmental Science and Health*, 53(11), 729–737. <https://doi.org/10.1080/03601234.2018.1480157>

Silva, V., Montanarella, L., Jones, A., Fernández-Ugalde, O., Mol, H. G. J., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2018). Distribution of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in agricultural topsoils of the European Union. *Science of the Total Environment*, 621, 1352–1359. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.093>

Skeff, W., Recknagel, C., & Schulz-Bull, D. E. (2016). The influence of salt matrices on the reversed-phase liquid chromatography behavior and electrospray ionization tandem mass spectrometry detection of glyphosate, glufosinate, aminomethylphosphonic acid and 2-aminoethylphosphonic acid in water. *Journal of Chromatography A*, 1475, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.11.007>

Stellin, F., Gavinelli, F., Stevanato, P., Concheri, G., Squartini, A., & Paoletti, M. G. (2018). Effects of different concentrations of glyphosate (Roundup 360®) on earthworms (*Octodrilus complanatus*, *Lumbricus terrestris* and *Aporrectodea caliginosa*) in vineyards in the North-East of Italy. *Applied Soil Ecology*, 123, 802–808. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.07.028>

Stuart, M.E., Manamsa K., Talbot, J.C., Crane, E. J. (2011). Emerging contaminants in groundwater. *British Geological Survey, Open Report OR/11/013*, 1–111. <https://doi.org/10.1089/109287503768335887>

Székács, A., Mörtl, M., & Darvas, B. (2015). Monitoring pesticide residues in surface and ground water in Hungary: Surveys in 1990-2015. *Journal of Chemistry*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/717948>

The Council of the European Union. (1998). Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities*, L330, 32–54. <https://doi.org/2004R0726 - v.7 of 05.06.2013>

Thongprakaisang, S., Thiantanawat, A., Rangkadilok, N., Suriyo, T., & Satayavivad, J. (2013). Glyphosate induces human breast cancer cells growth via estrogen receptors. *Food and Chemical Toxicology*, 59, 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.057>

Torretta, V., Katsoyiannis, I. A., Viotti, P., & Rada, E. C. (2018). Critical review of the effects of glyphosate exposure to the environment and humans through the food supply chain. *Sustainability (Switzerland)*, 10(4), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su10040950>

USEPA. (2009). EPA 816-F-09-004. National Primary Drinking Water Regulations. *Usepa*, 1, 7. Retrieved from <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>

- USEPA. (2017). About Water Exposure Models Used in Pesticide Assessments, 1–8. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2016.1266376>
- Van Bruggen, A. H. C., He, M. M., Shin, K., Mai, V., Jeong, K. C., Finckh, M. R., & Morris, J. G. (2018). Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Science of The Total Environment*, 616–617, 255–268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.309>
- Van Stempvoort, D. R., Spoelstra, J., Senger, N. D., Brown, S. J., Post, R., & Struger, J. (2016). Glyphosate residues in rural groundwater, Nottawasaga River Watershed, Ontario, Canada. *Pest Management Science*, 72(10), 1862–1872. <https://doi.org/10.1002/ps.4218>
- Vargas Vázquez, M. L. P., Muruaga Martínez, J. S., & Pérez Guerrero, A. (2013). Temperatura y precipitación de los sitios de colecta de variedades nativas de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), 843–853. <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i6.1153>
- Villeneuve, A., Larroud, S., & Humbert, J. F. (2011). Herbicide Contamination of Freshwater Ecosystems: Impact on Microbial Communities. *Pesticides - Formulations, Effects, Fate*. <https://doi.org/10.5772/13515>
- Voet, E. van der, Oers, L. van, Tomas Rydberg, Westerdahl, J., & Larsen, H. F. (2013). Life Cycle Assessment of Additives: Methodology and Data. In B. Bilitewski, R. M. Darbra, & D. Barceló (Eds.), *Global Risk-Based Management of Chemical Additives II: Risk-Based Assessment and Management Strategies* (pp. 7–24). London: Springer Berlin Heidelberg.
- von Mérey, G., Manson, P. S., Mehrsheikh, A., Sutton, P., & Levine, S. L. (2016). Glyphosate and aminomethylphosphonic acid chronic risk assessment for soil biota. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(11), 2742–2752. <https://doi.org/10.1002/etc.3438>
- Wang, Dan, Singhasemanon, N., & Goh, K. S. (2016). A statistical assessment of pesticide pollution in surface waters using environmental monitoring data: Chlorpyrifos in Central Valley, California. *Science of the Total Environment*, 571, 332–341. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.159>
- Wang, Duo, Lin, B., Cao, Y., Guo, M., & Yu, Y. (2016). A Highly Selective and Sensitive Fluorescence Detection Method of Glyphosate Based on an Immune Reaction Strategy of Carbon Dot Labeled Antibody and Antigen Magnetic Beads. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(30), 6042–6050. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01088>
- Wester, R. C., Melendres, J., Sarason, R., McMaster, J., & Maibach, H. I. (1991). Glyphosate Skin Binding , Absorption , Residual Tissue Distribution , and Skin Decontamination Percutaneous absorption is the process whereby a chemical in contact with skin becomes systemically available through a series of biochemical events (Wester. *Fundamental and Applied Toxicology*, 16(725), 732.
- Woodburn, A. T. (2000). Glyphosate: Production, pricing and use worldwide. *Pest Management Science*, 56(4), 309–312. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1526-4998\(200004\)56:4<309::AID-PS143>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1526-4998(200004)56:4<309::AID-PS143>3.0.CO;2-C)
- WWAP. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2016: Agua y Empleo*. París: UNESCO.

- Zhang, S., Xu, J., Kuang, X., Li, S., Li, X., Chen, D., ... Feng, X. (2017). Biological impacts of glyphosate on morphology, embryo biomechanics and larval behavior in zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*, *181*, 270–280. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.094>
- Zhao, Y. Y., & Pei, Y. S. (2012). Risk evaluation of groundwater pollution by pesticides in China: a short review. *Procedia Environmental Sciences*, *13*(2011), 1739–1747. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.167>
- Zoller, U. (1994). *Groundwater contamination and control*. New York.
- Zouaoui, K., Dulaurent, S., Gaulier, J. M., Moesch, C., & Lachâtre, G. (2013). Determination of glyphosate and AMPA in blood and urine from humans: About 13 cases of acute intoxication. *Forensic Science International*, *226*(1–3), 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.12.010>

ANEXO 1. ENCUESTA.

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



Instituto de Ciencias - ICUAP
Maestría en Ciencias Ambientales



La presente encuesta tiene como finalidad, tener una perspectiva sobre el uso y manejo de glifosato (Faena) en el municipio de Tenampulco, Puebla.

Datos generales.

N° de Encuesta: _____ **Edad:** _____ años **Sexo:** M F

¿Cuánto tiempo lleva viviendo en la región? De 0 – 5 años ; de 6 – 10 años ;

De 10 – 20 años ; De 20 – 30 años ; Más de 30 años

¿Cuál es su ocupación? Agricultura ; Ganadería ; Pesca ; Hogar ; Otra _____

* Si no es agricultor, continúe en la sección 3.

Sección 1. Aspectos sobre cultivo, uso y manejo de plaguicidas

1. ¿Qué es lo que cultiva?

Maíz ; Cítricos ; Trigo ; Forraje ; Otro _____

2. ¿Cuál es el área que utiliza para cultivar?

Menos de 1 hectárea ; De 1 a 5 hectáreas ; De 5 a 10 hectáreas ;

De 10 a 20 hectáreas ; Más de 20 hectáreas

3. ¿Cuáles son las plagas más frecuentes en su cultivo?

Maleza (hierba) ; Insectos ; Hongos ; Roedores ; Otro _____

4. ¿Qué plaguicidas utiliza?

Glifosato ; 2,4-D ; Paraquat ; Dicamba ; Otro _____

5. ¿Cuánto tiempo lleva usando los plaguicidas?

Menos de 1 año ; De 1 a 5 años ; De 5 a 10 años ; De 10 a 20 años ;

De 20 a 30 años ; Más de 30 años

6. ¿Qué medida de seguridad utiliza para la mezcla y/o aplicación de plaguicida?

a) Ninguno

b) Guantes

c) Mascarilla

d) Lentes de seguridad

e) Botas

f) Overol

g) Delantal

h) Máscara de cobertura completa

i) Otros _____

7. Si no utiliza todo o le sobra plaguicida ¿Qué hace con el sobrante?

Vierte al suelo ; Vierte al río ; Desecha en contenedores especiales ;
Reutiliza y no desecha ; Almacena en casa trabajo jardín ; Otro _____

8. ¿Qué hace con los envases vacíos?

Tira a la basura ; Tira al río ; Desecha en contenedores especiales ;
Reutiliza ; Almacena en casa trabajo jardín ; Otro _____

9. Al comprar los plaguicidas ¿En qué lugar los almacena?

Casa: interior exterior ; Trabajo: interior exterior ; Otro _____

Sección 2. Datos específicos sobre glifosato (Faena)

10. ¿Qué método utiliza para aplicar glifosato?

- | | | |
|--------------------------|---------------|-----------------------------------|
| a) No usa glifosato* | b) Espolvoreo | c) Pistola pulverizadora manual |
| d) Mochila pulverizadora | e) Fumigación | f) Aplicación directa en el suelo |
| g) Otro _____ | | |

* Si no usa glifosato continúe en la sección 3.

11. ¿Cuáles son las temporadas que aplica glifosato?

Primavera (abril – junio) ; Verano (julio - septiembre) ; Otoño (octubre – diciembre) ;
Invierno (enero – marzo)

12. ¿Cuáles son las presentaciones en las que adquiere el glifosato?

Concentrado soluble: 482 g/L , 363 g/L ; Granulado soluble: 865 g/kg , 720 g/kg ,
680 g/kg ; Solución acuosa: 360 g/L , 240 g/L ; Granulado dispersable: 650 g/kg

13. En la temporada de aplicación ¿Cuántas veces a la semana aplica glifosato?

Una vez al mes ; Una vez cada 15 días ; Una vez a la semana ;
Dos a tres veces a la semana ; cuatro a cinco veces a la semana ; Diariamente

14. ¿A qué hora del día aplica glifosato?

Mañana (6 – 12 horas) ; Tarde (12 – 18 horas); Noche (18 – 24 horas);
Madrugada (0 – 6 horas)

¿Por qué? Recomendación ; Facilidad ; Otra _____

15. De acuerdo al método de aplicación y a la presentación utilizada de glifosato ¿Qué cantidad de glifosato utiliza por hectárea?

1 – 5 g por hectárea ; 5 – 10 g por hectárea ; 10 – 25 g por hectárea ;
25 – 50 g por hectárea ; 50 – 100 g por hectárea ; Más de 100 g por hectárea

16. ¿Mezcla el glifosato con algún otro plaguicida? ¿porqué?

Si ; No

¿Por qué?

Resistencia ; Otras plagas ; Otra _____

Sección 3. Condiciones sociales de exposición a glifosato.

17. ¿Cómo obtiene el agua para beber, preparar sus alimentos y de uso doméstico?

Pozo ; Directo del río ; Pipa ; De lluvia almacenada en recipientes ;
Entubada (municipal) ; Otra _____

18. ¿Aplica algún método de purificación al agua para consumo y uso doméstico?

Si ; No

¿Cuál? Filtro ; Hirviendo ; Exposición a radiación solar ; Ninguna ; Otra _____

19. ¿Qué cantidad de agua toma en promedio al día?

menos de medio litro ; De medio a 1 litro ; De 1 a 1.5 litros ; De 1.5 a 2 litros ;
De 2 a 2.5 litros ; de 2.5 a 3 litros ; Más de 3 litros

20. ¿Qué cantidad de agua usa en promedio para preparar sus alimentos?

menos de medio litro ; De medio a 1 litro ; De 1 a 1.5 litros ; De 1.5 a 2 litros ;
De 2 a 2.5 litros ; de 2.5 a 3 litros ; Más de 3 litros

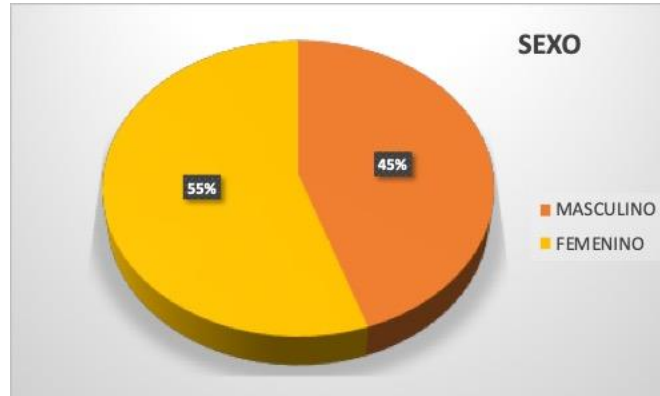
21. Cuando se baña ¿cuánta agua utiliza en promedio?

menos de 10 litros ; De 10 a 20 litros ; De 20 a 30 litros ; De 30 a 40 litros ;
De 40 a 50 litros ; Más de 50 litros

ANEXO 2. Resultados de encuestas.

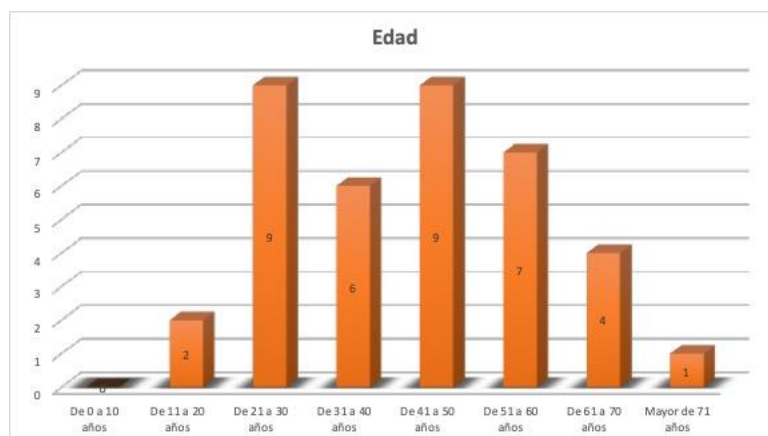
Sexo:

Masculino	17
Femenino	21



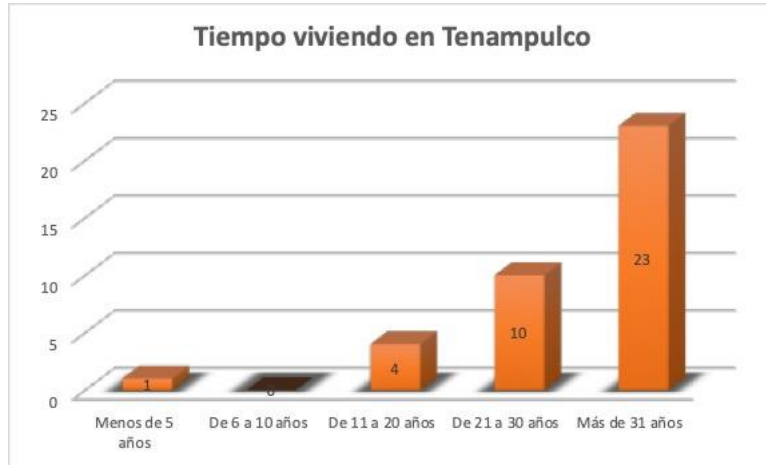
Edad:

Edad	
De 0 a 10 años	0
De 11 a 20 años	2
De 21 a 30 años	9
De 31 a 40 años	6
De 41 a 50 años	9
De 51 a 60 años	7
De 61 a 70 años	4
Mayor de 71 años	1



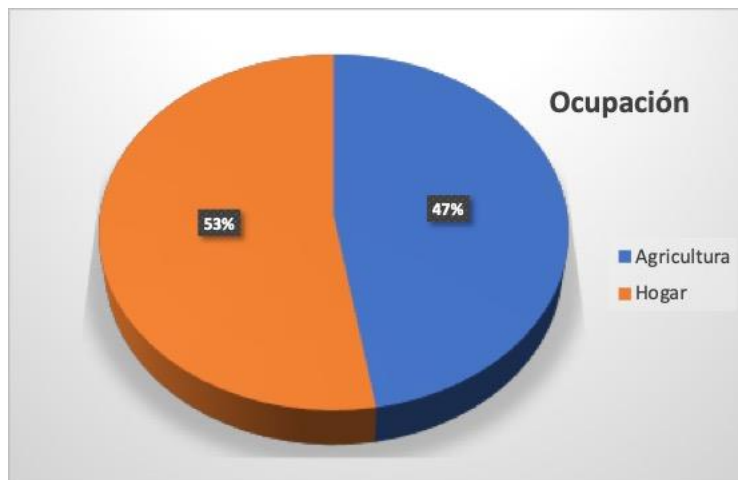
Tiempo viviendo en Tenampulco:

Menos de 5 años	1
De 6 a 10 años	0
De 11 a 20 años	4
De 21 a 30 años	10
Más de 31 años	23



Ocupación:

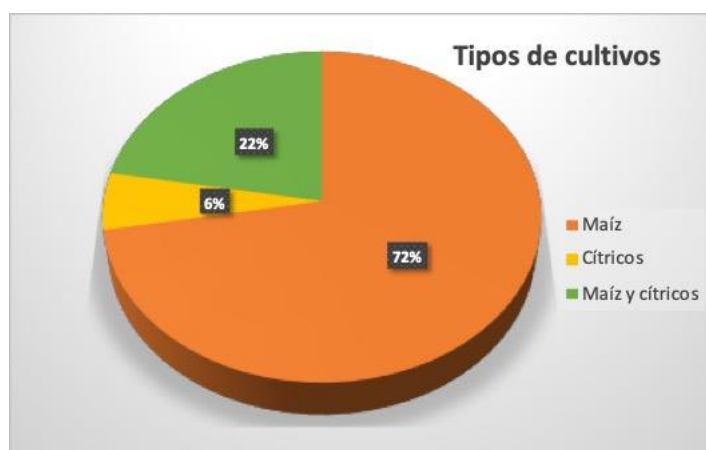
Agricultura	18
Ganadería	0
Pesca	0
Hogar	20
Otra	0



Sección 1. Aspectos sobre cultivo, uso y manejo de plaguicidas

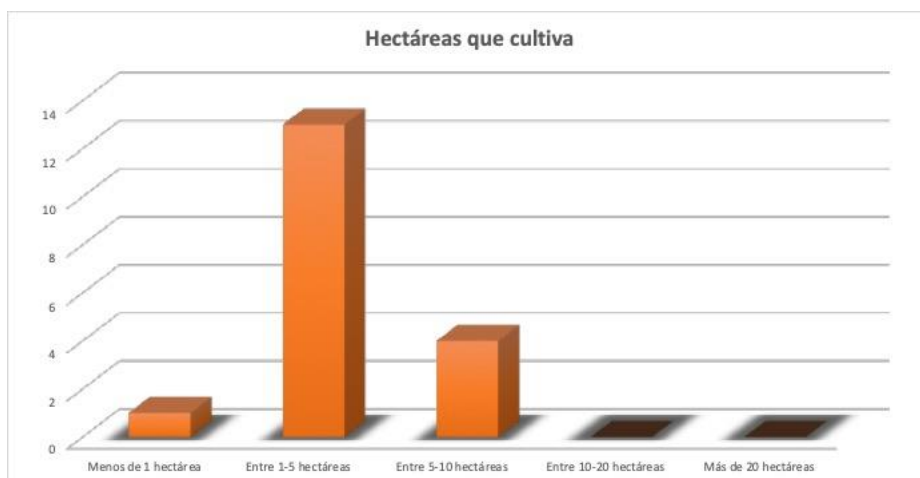
1. ¿Qué es lo que cultiva?

Maíz	13
Cítricos	1
Maíz y cítricos	4
Trigo	0
Forraje	0
Otros	0



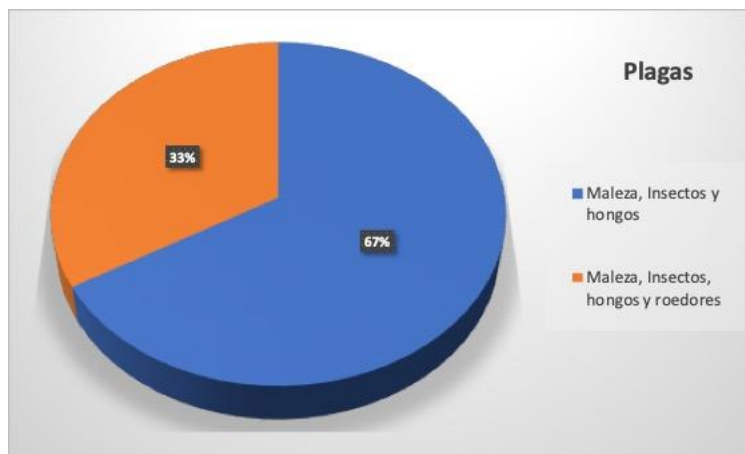
2. ¿Cuál es el área que utiliza para cultivar?

Menos de 1 hectárea	1
Entre 1-5 hectáreas	13
Entre 5-10 hectáreas	4
Entre 10-20 hectáreas	0
Más de 20 hectáreas	0



3. ¿Cuáles son las plagas más frecuentes en su cultivo?

Maleza, Insectos y hongos	12
Maleza, Insectos, hongos y roedores	6



4. ¿Qué herbicidas utiliza?

Glifosato	1
2,4-D	0
Paraquat	0
Dicamba	0
Otro	0
Glifosato y 2,4-D	1
Glifosato, 2,4-D y paraquat	13
Glifosato, 2,4-D, paraquat y dicamba	3



5. ¿Cuánto tiempo lleva usando los plaguicidas?

Menos de 1 año	0
Entre 1 - 5 años	1
Entre 5 - 10 años	7
Entre 10 - 20 años	6
Entre 20 - 30 años	1
Más de 30 años	2



6. ¿Qué medida de seguridad utiliza para la mezcla y/o aplicación de plaguicida?

Ninguna	10
Guantes	0
Mascarilla	1
Lentes de seguridad	0
Botas	1
Overol	0
Delantal	0
Mascara completa	0
pañuelo (paliacate)	3
Guantes y mascarilla	2
Botas y pañuelo	1



7. Si no utiliza todo o le sobra plaguicida ¿Qué hace con el sobrante?

Vierte al suelo	0
Vierte al rio	0
Desecha en contenedor especial	0
Reutiliza y no desecha	17
Almacena en casa	1
Almacena en trabajo	0
Almacena en jardín	0
Otro	0



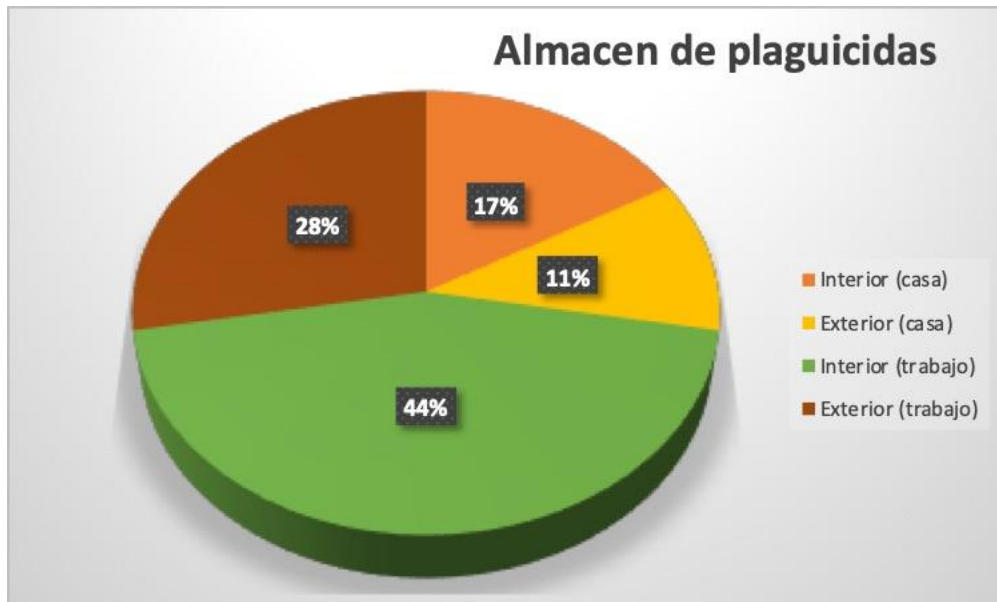
8. ¿Qué hace con los envases vacíos?

Tira a la basura	4
Tira al rio	0
Desecha en contenedores especiales	0
Reutiliza	0
Almacena en casa	1
Almacena en trabajo	4
Almacena en jardín	0
Quema	9
Otro	0



9. Al comprar los plaguicidas ¿En qué lugar los almacena?

Interior (casa)	3
Exterior (casa)	2
Interior (trabajo)	8
Exterior (trabajo)	5
Otro	0



Sección 2. Datos específicos sobre glifosato (Faena)

10. ¿Qué método utiliza para aplicar glifosato?

No usa glifosato	0
Espolvoreo	0
Pistola pulverizadora (manual)	0
Mochila pulverizadora	18
Fumigación	0
Aplicación directa en el suelo	0
Otro	0

11. ¿Cuáles son las temporadas que aplica glifosato?

Primavera y verano	1
Primavera y otoño	0
Primavera e invierno	1
Verano y otoño	4
Verano e invierno	12
Otoño e invierno	0

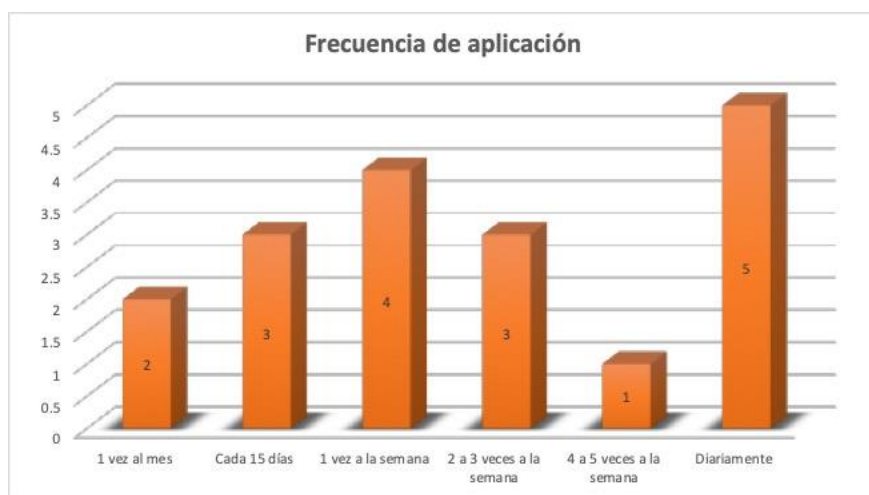


12. ¿Cuáles son las presentaciones en las que adquiere el glifosato?

482 g/L	0
363 g/L	0
865 g/kg	0
720 g/k	0
680 g/kg	0
360 g/L	18
240 g/L	0
650 g/kg	0

13. En la temporada de aplicación ¿Cuántas veces aplica glifosato?

1 vez al mes	2
Cada 15 días	3
1 vez a la semana	4
2 a 3 veces a la semana	3
4 a 5 veces a la semana	1
Diariamente	5



14. ¿A qué hora del día aplica glifosato?

Mañana	18
Tarde	0
Noche	0
Madrugada	0

15. De acuerdo al método de aplicación y a la presentación utilizada de glifosato ¿Qué cantidad de glifosato utiliza por hectárea?

De los 18 agricultores entrevistados 12 (67 %) contestaron que utilizan 1 litro de glifosato de la presentación de 482 g/L por hectárea de cultivo, los 6 (33 %) restantes utilizan el doble de la concentración para una hectárea de cultivo.

16. ¿Mezcla el glifosato con algún otro plaguicida?

El 100 % de los entrevistados respondió que si mezcla el glifosato con otros plaguicidas.

¿Por qué?

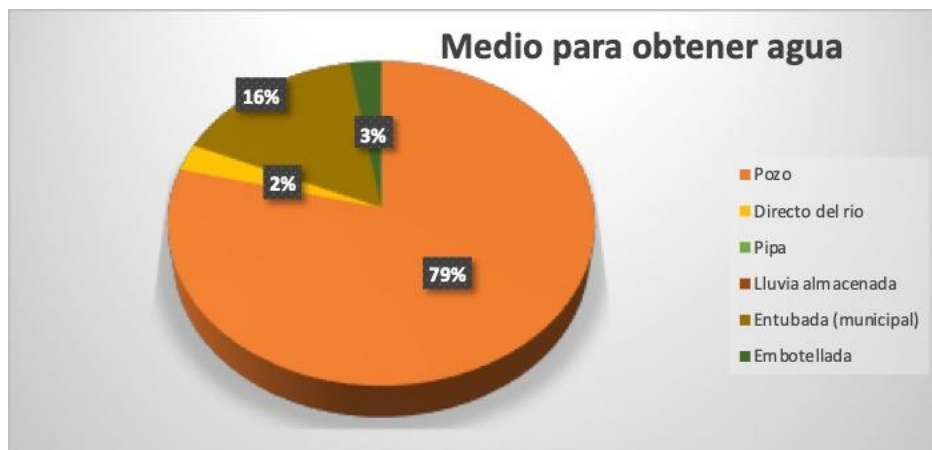
Resistencia	9
Otras plagas	5
Otras especies	4



Sección 3. Condiciones sociales de exposición a glifosato.

17. ¿Cómo obtiene el agua para beber, preparar sus alimentos y de uso doméstico?

Pozo	30
Directo del rio	1
Pipa	0
Lluvia almacenada	0
Entubada (municipal)	6
Embotellada	1

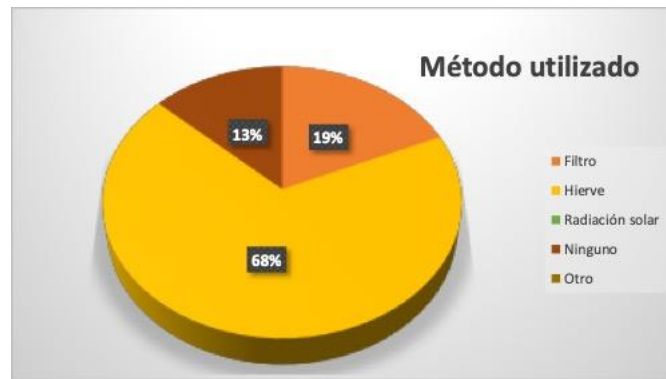


18. ¿Aplica algún método de purificación al agua para consumo y uso doméstico?

El 87 % (33 personas) de los entrevistados respondió que si realiza algún método de purificación del agua y el 13 % (5 personas) dijo no utilizar ninguna técnica o método.

¿Cuál?

Filtro	7
Hierve	26
Radiación solar	0
Ninguno	5
Otro	0



19. ¿Qué cantidad de agua toma en promedio al día?

Menos de 0.5 L	2
De 0.5 a 1 L	1
De 1 a 1.5 L	3
De 1.5 a 2 L	7
De 2 a 2.5 L	7
De 2.5 a 3 L	12
Más de 3 L	6



20. ¿Qué cantidad de agua usa en promedio para preparar sus alimentos?

De 1.5 a 2 L	2
De 2 a 2.5 L	6
De 2.5 a 3 L	5
De 3 a 4 L	0
De 4 a 5 L	0
De 5 a 6 L	5
De 6 a 7 L	3
De 7 a 8 L	6
De 8 a 9 L	3
De 9 a 10 L	7



21. Cuando se baña ¿cuánta agua utiliza en promedio?

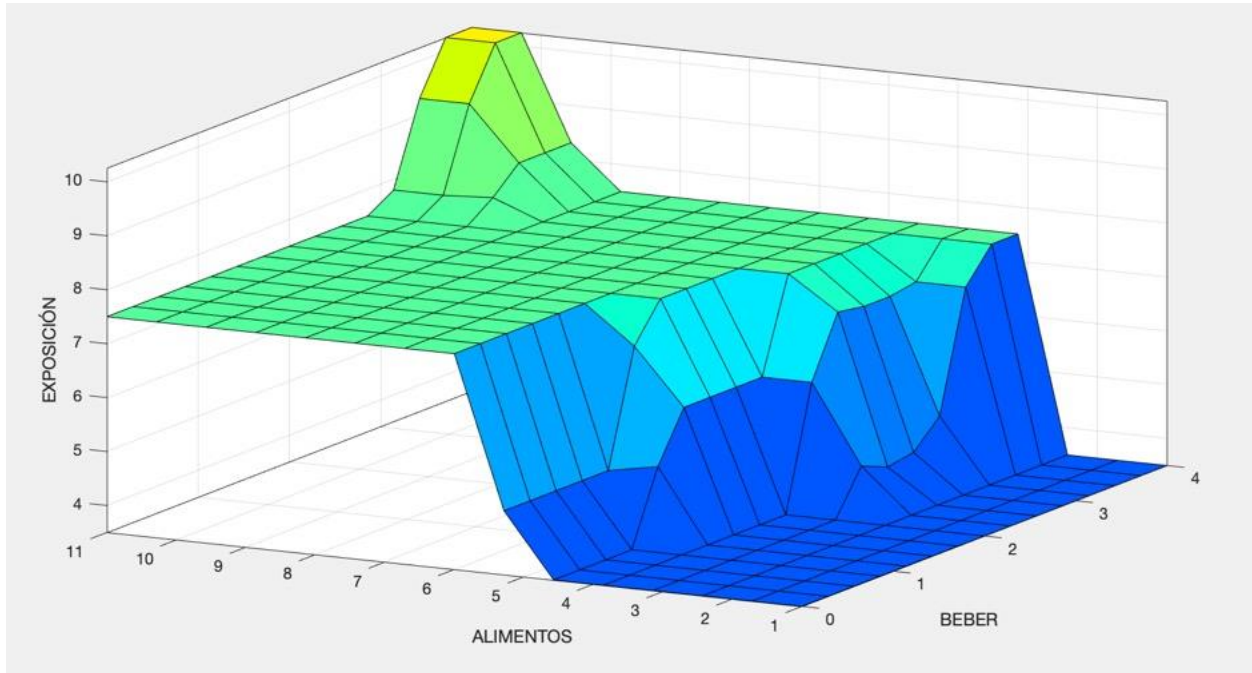
1 = < 10 L	0
2 = 10 -20 L	2
3 = 20 - 30 L	30
4 = 30 - 40 L	4
5 = 40 - 50 L	0
6 = > 50 L	1



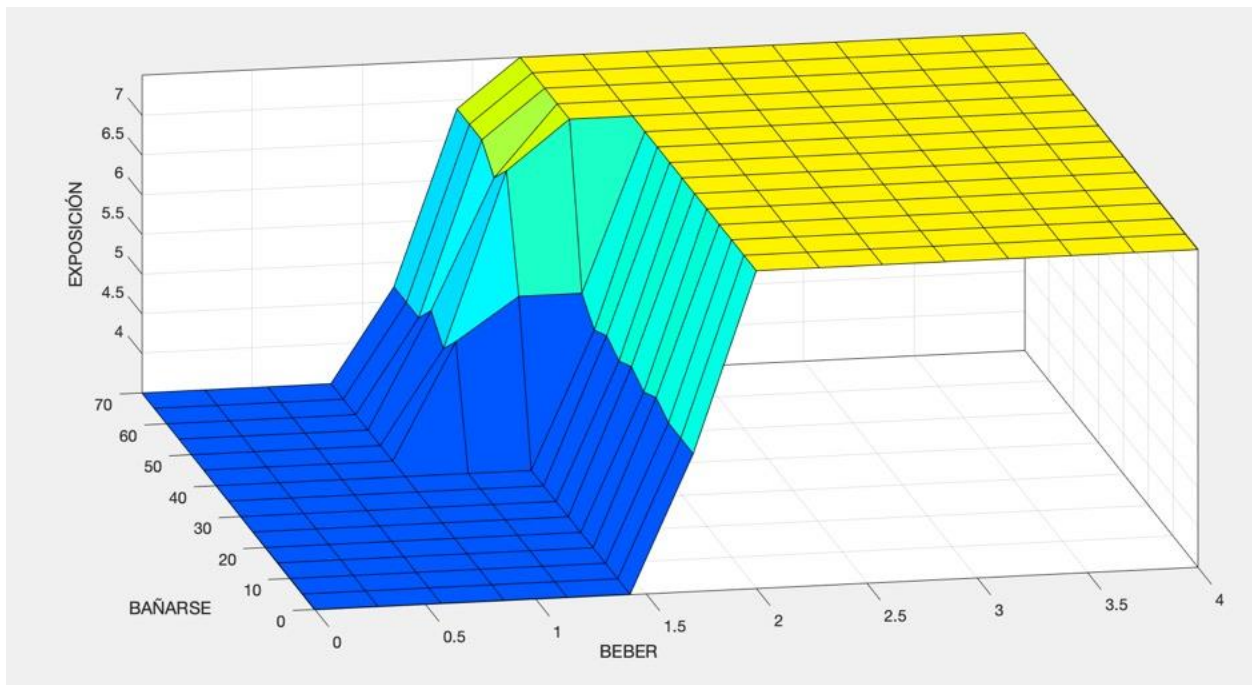
ANEXO 3. Resultados de la modelación de la exposición.

Punto de muestreo 1.

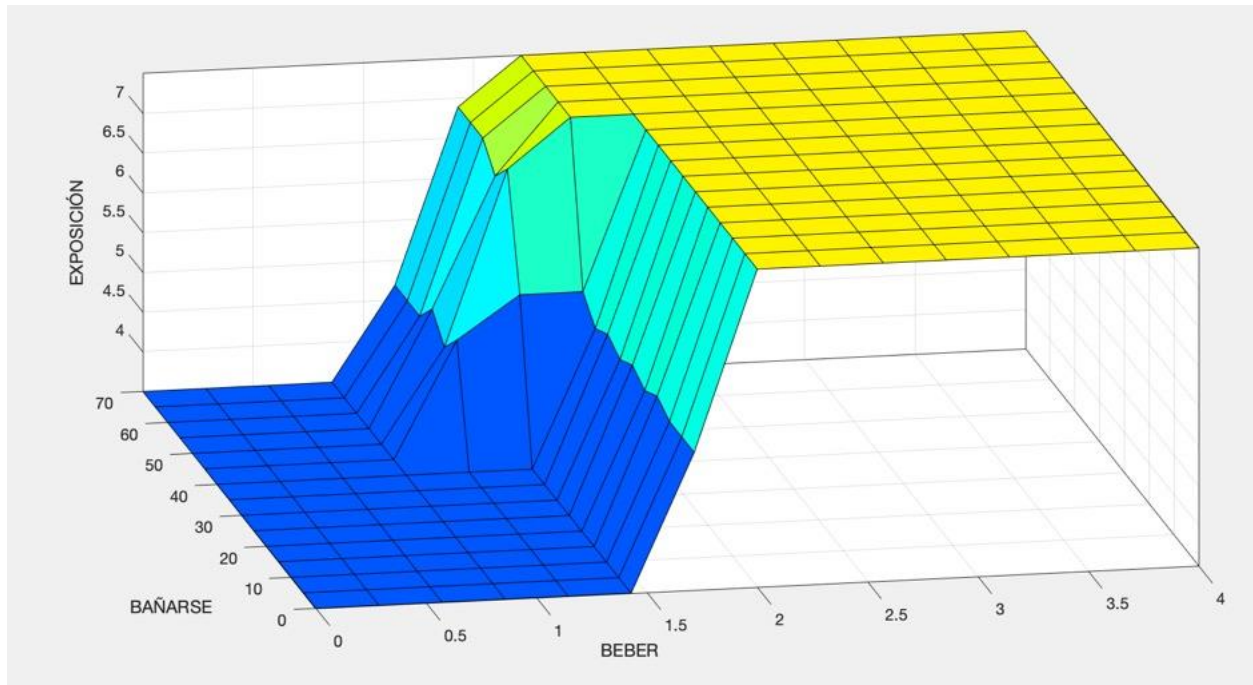
Beber y alimentos.



Beber y bañarse

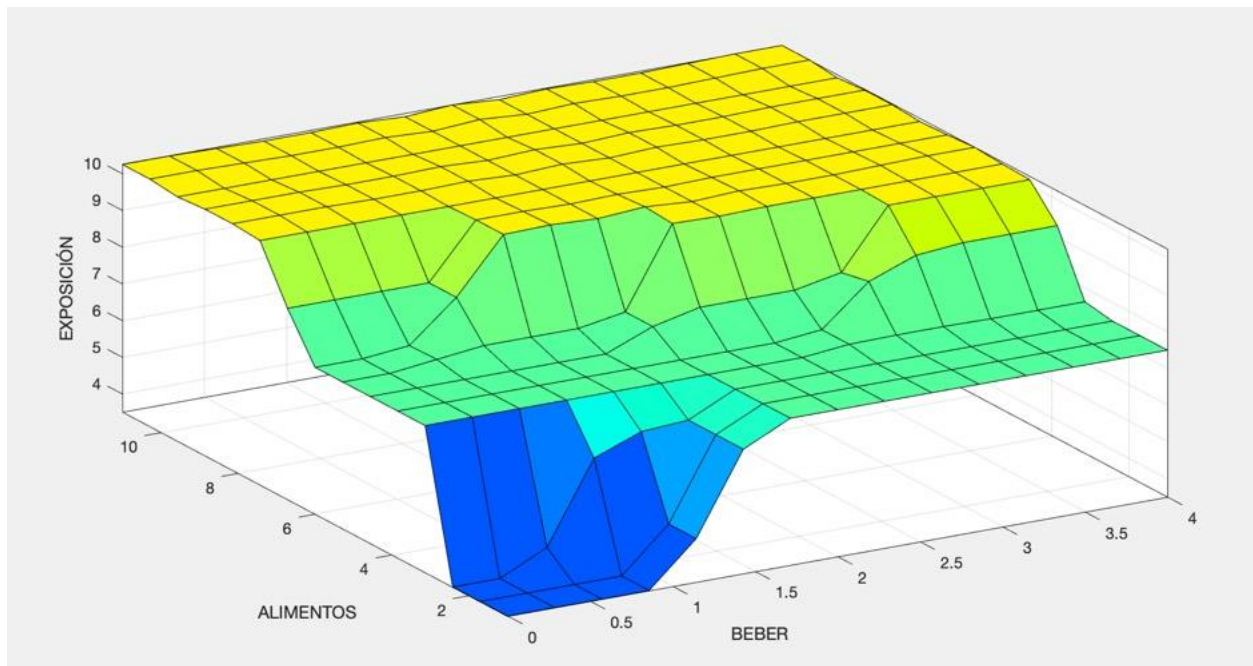


Alimentos y bañarse.

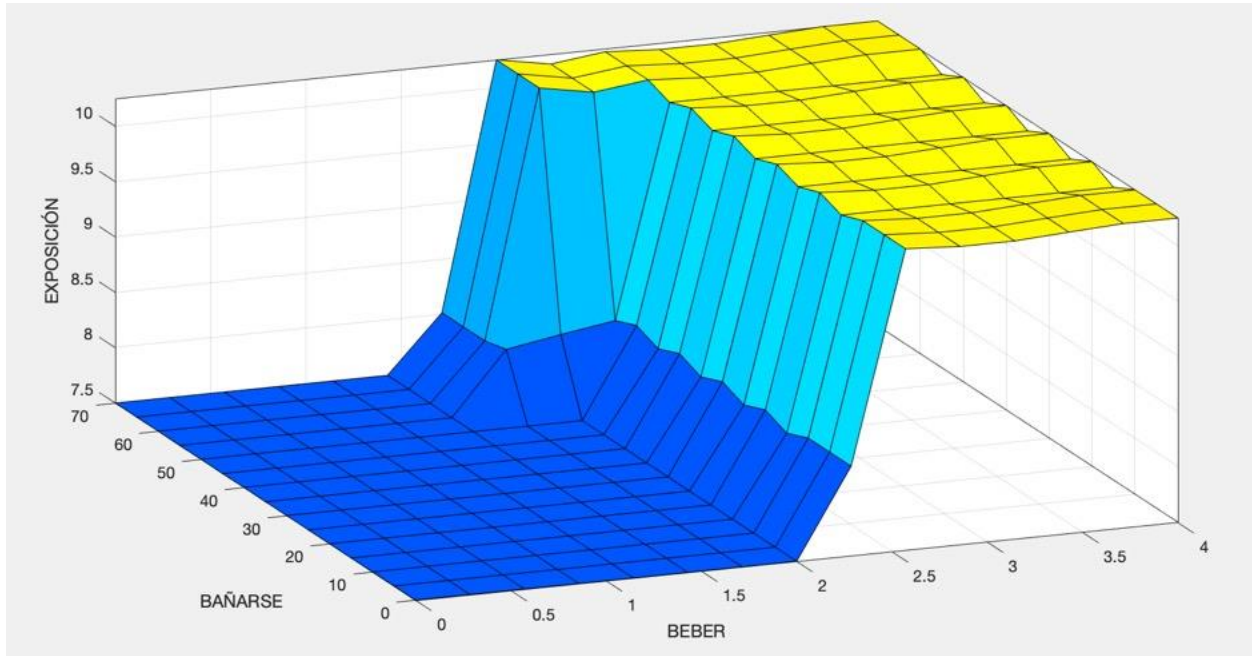


Punto de muestreo 3.

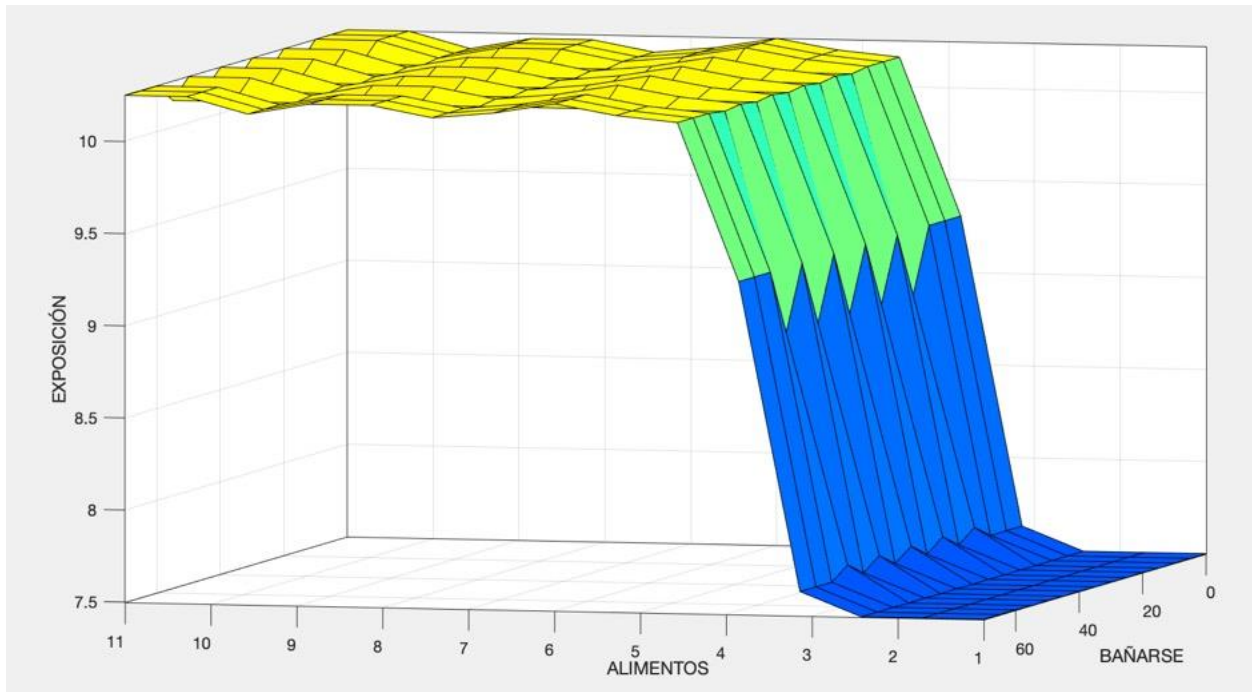
Beber y alimentos.



Beber y bañarse.

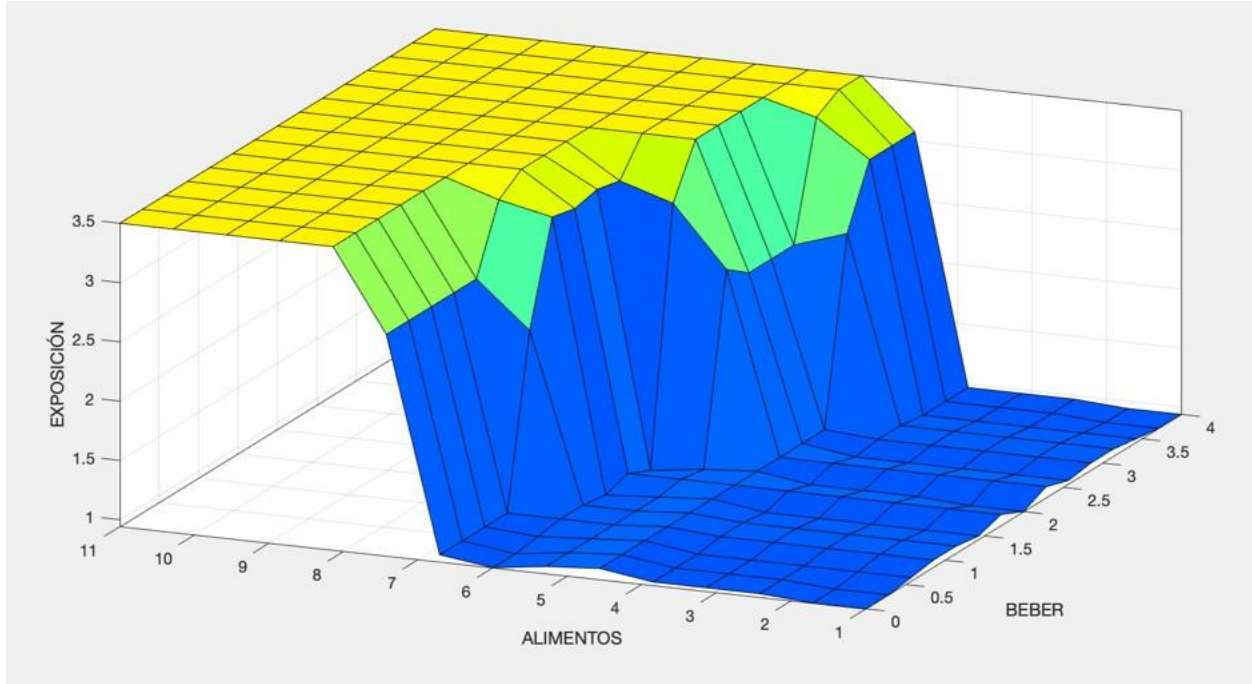


Alimentos y bañarse

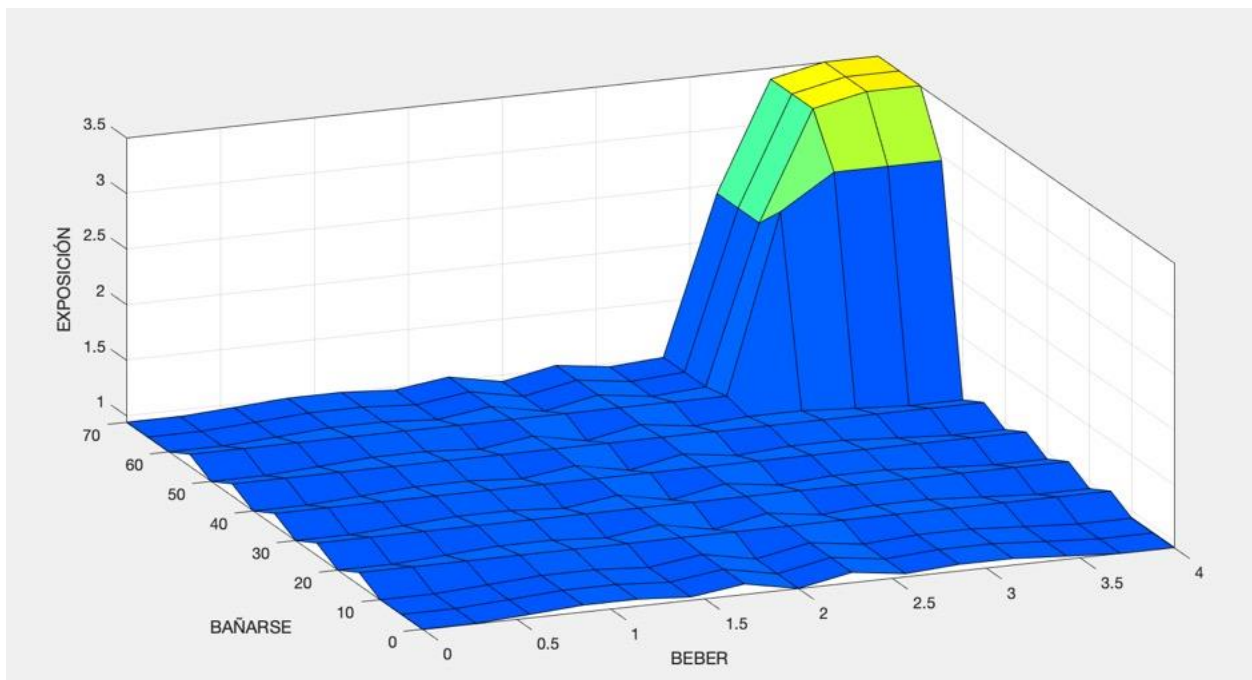


Punto de muestreo 6.

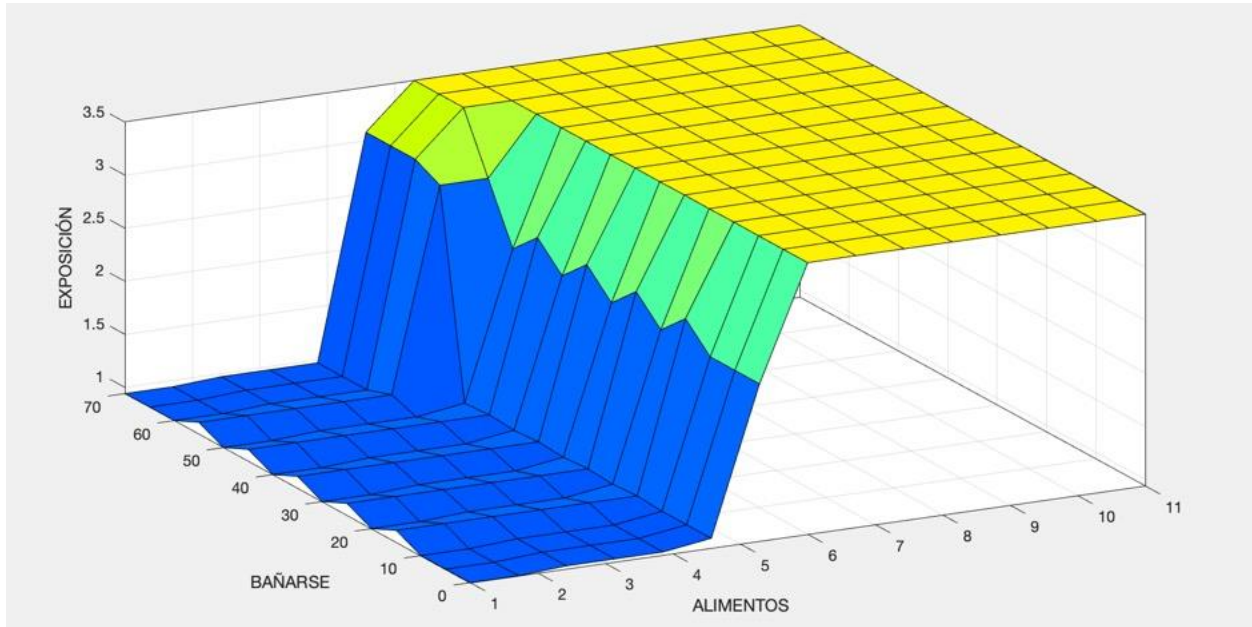
Beber y alimentos.



Beber y bañarse.

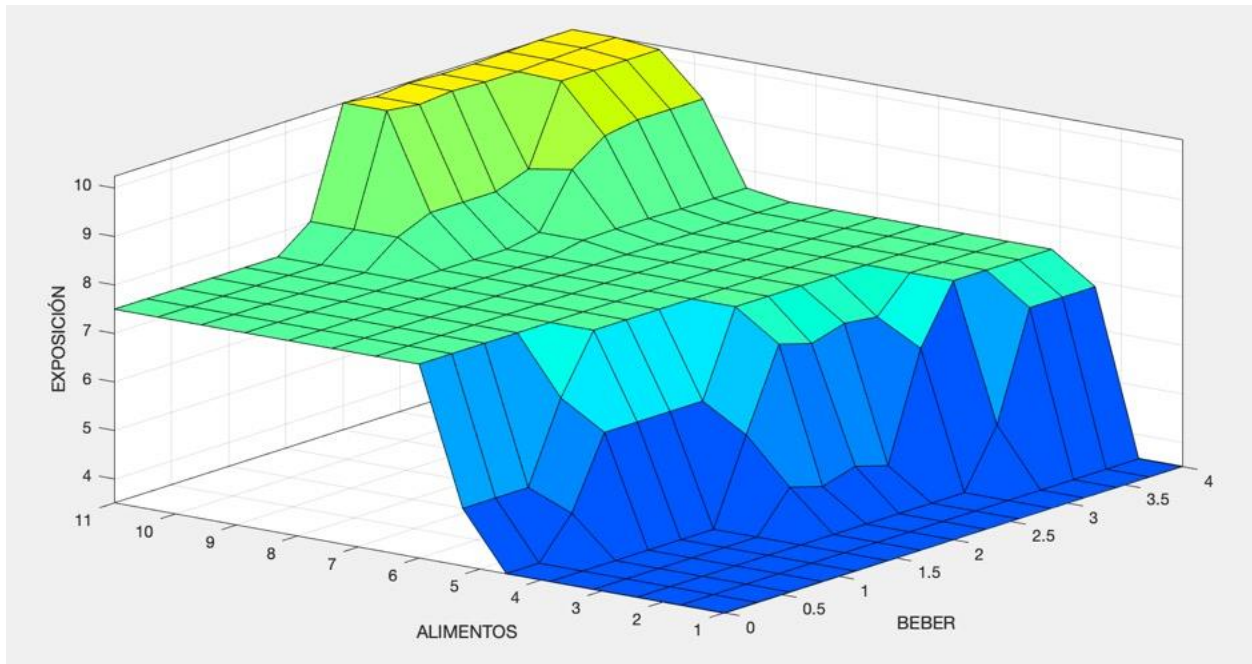


Alimentos y bañarse.

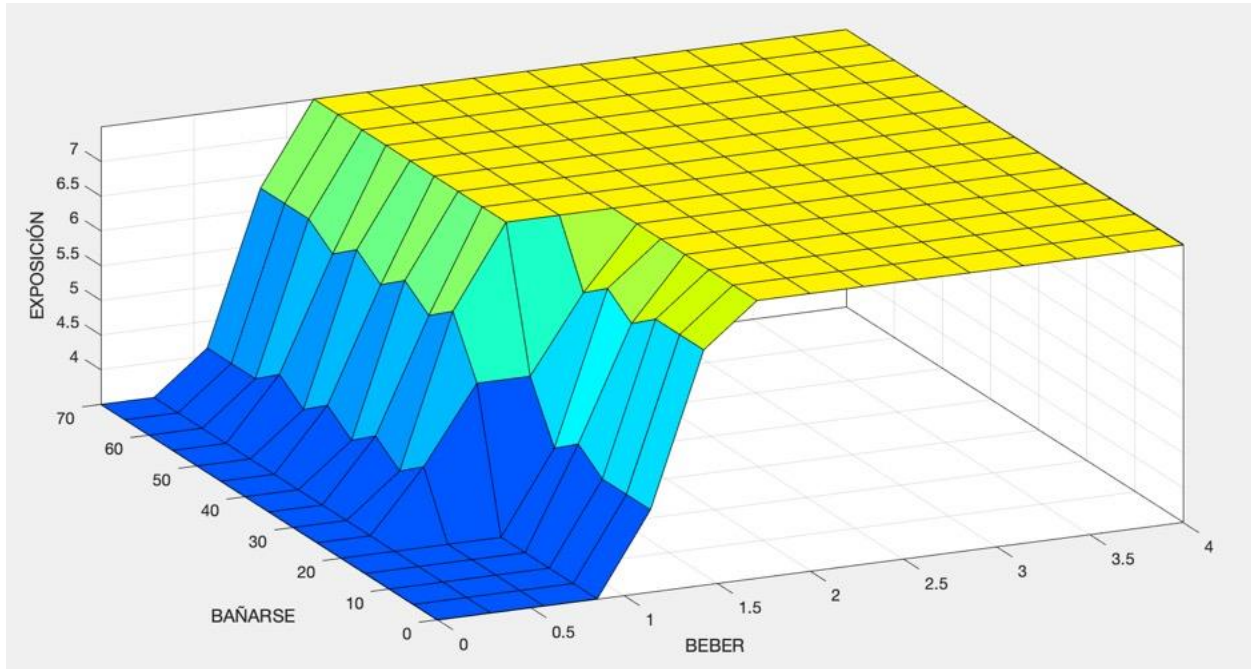


Punto de muestreo 7.

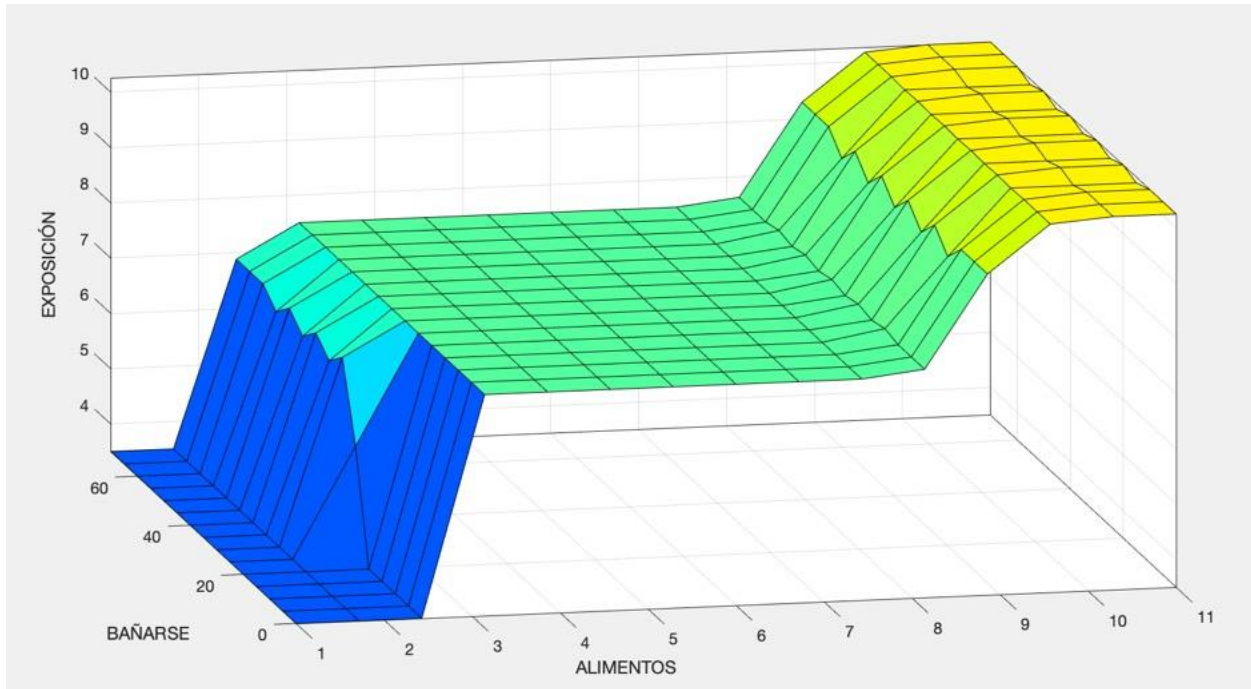
Beber y alimentos.



Beber y bañarse.

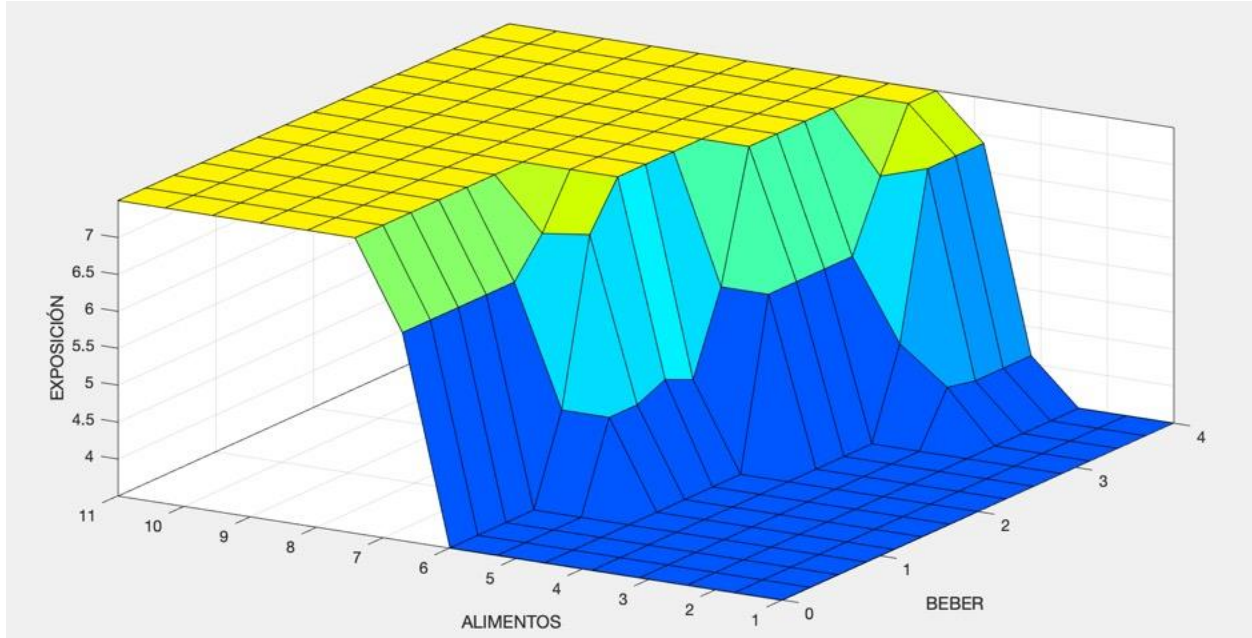


Alimentos y bañarse.

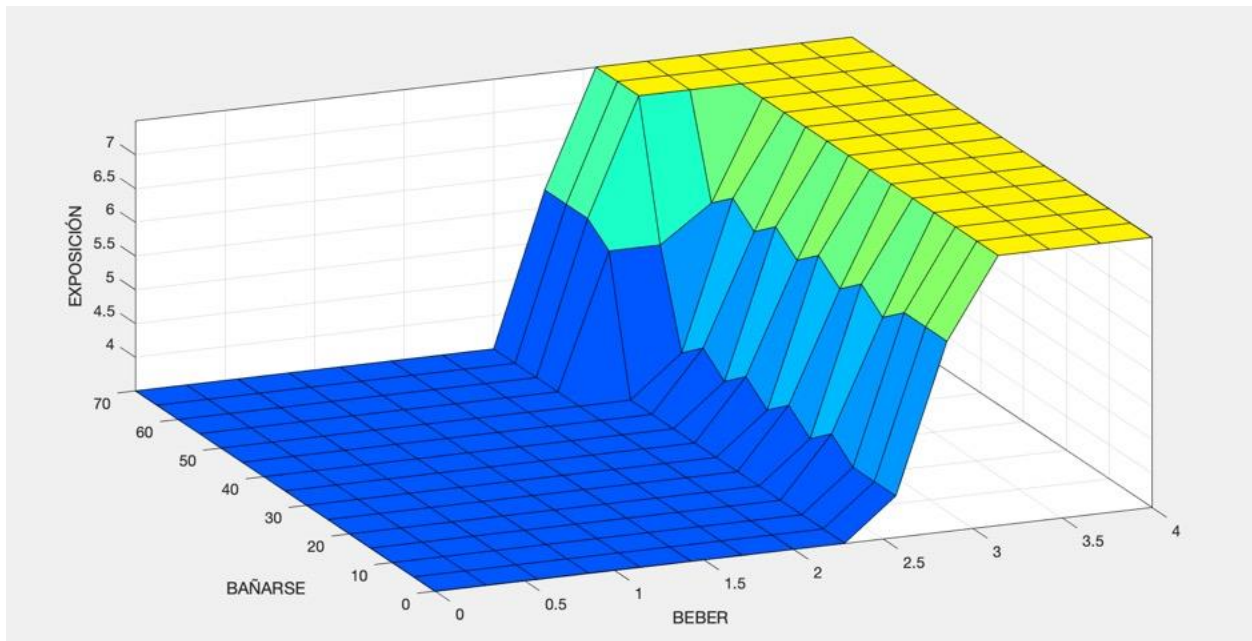


Punto de muestreo 8.

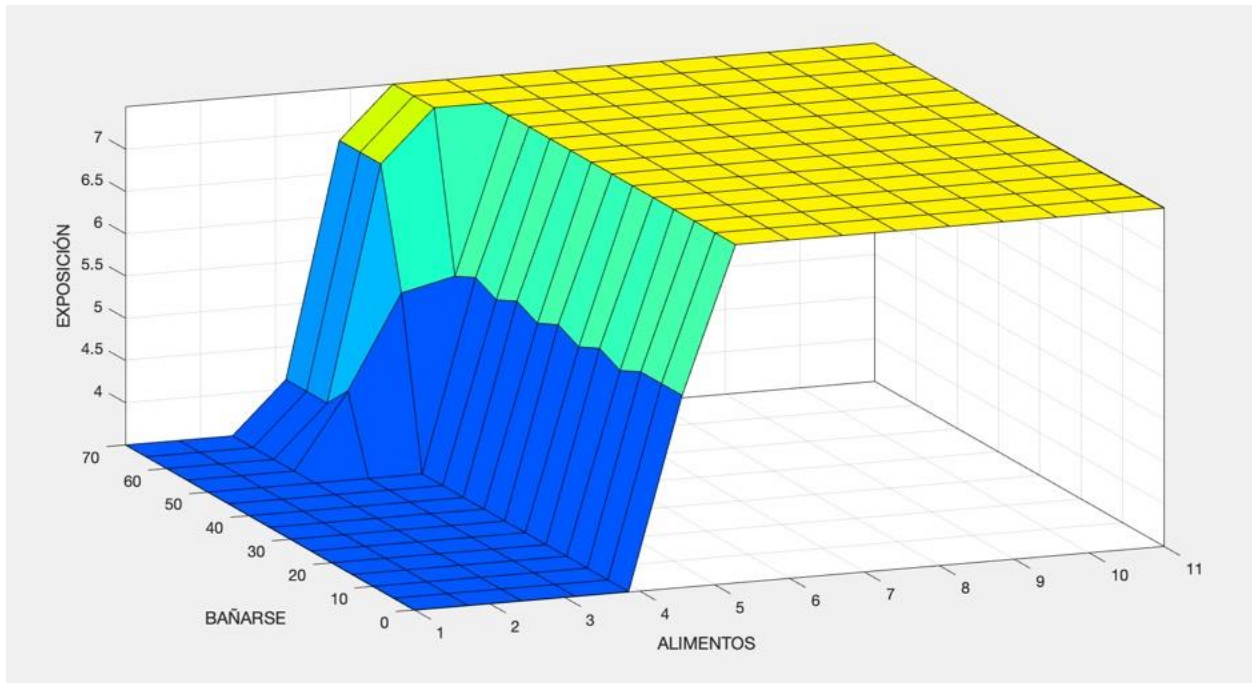
Beber y alimentos.



Beber y bañarse.

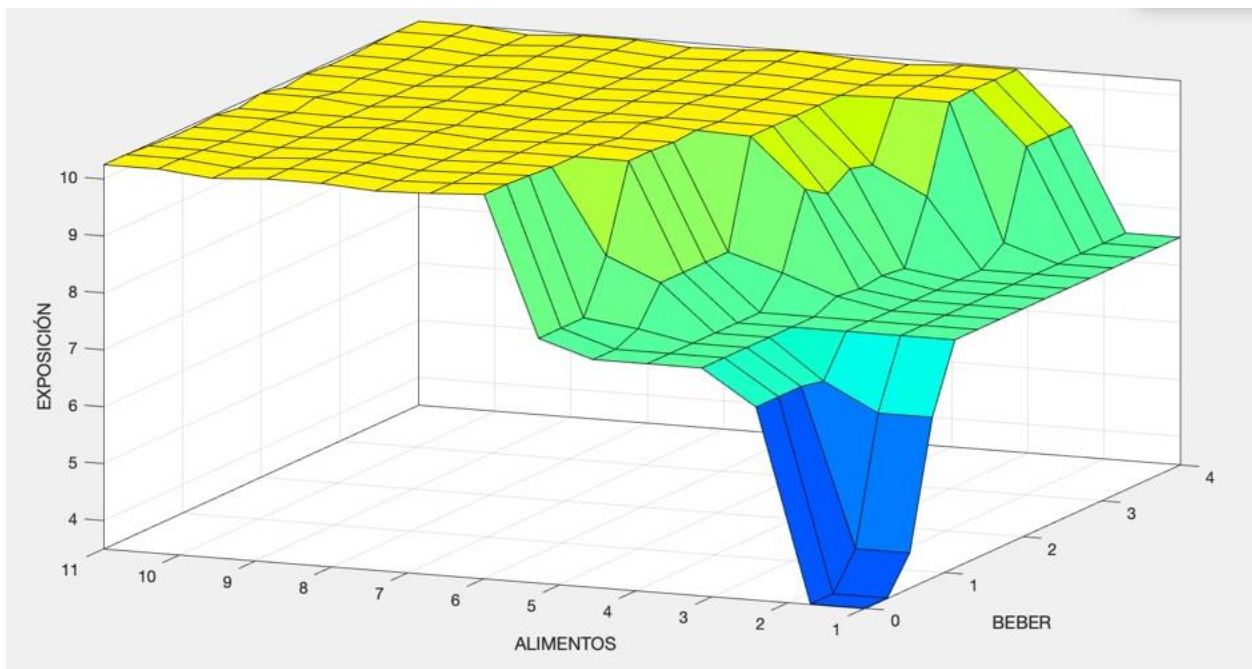


Alimentos y bañarse.

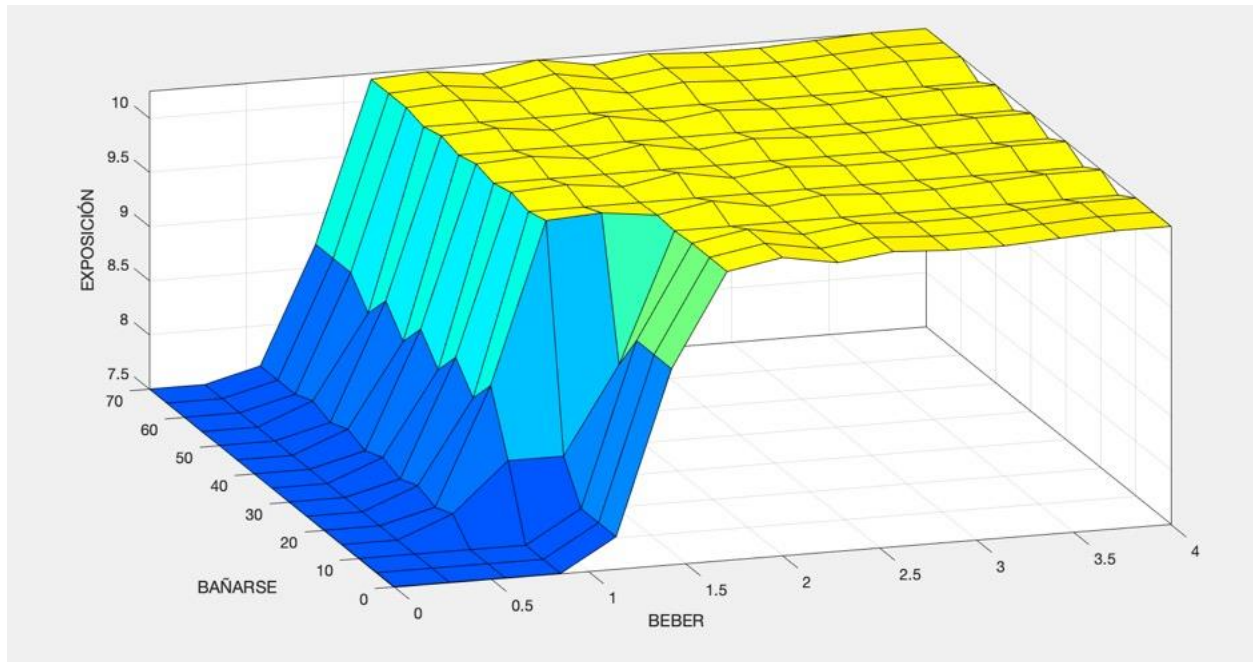


Punto de muestreo 9.

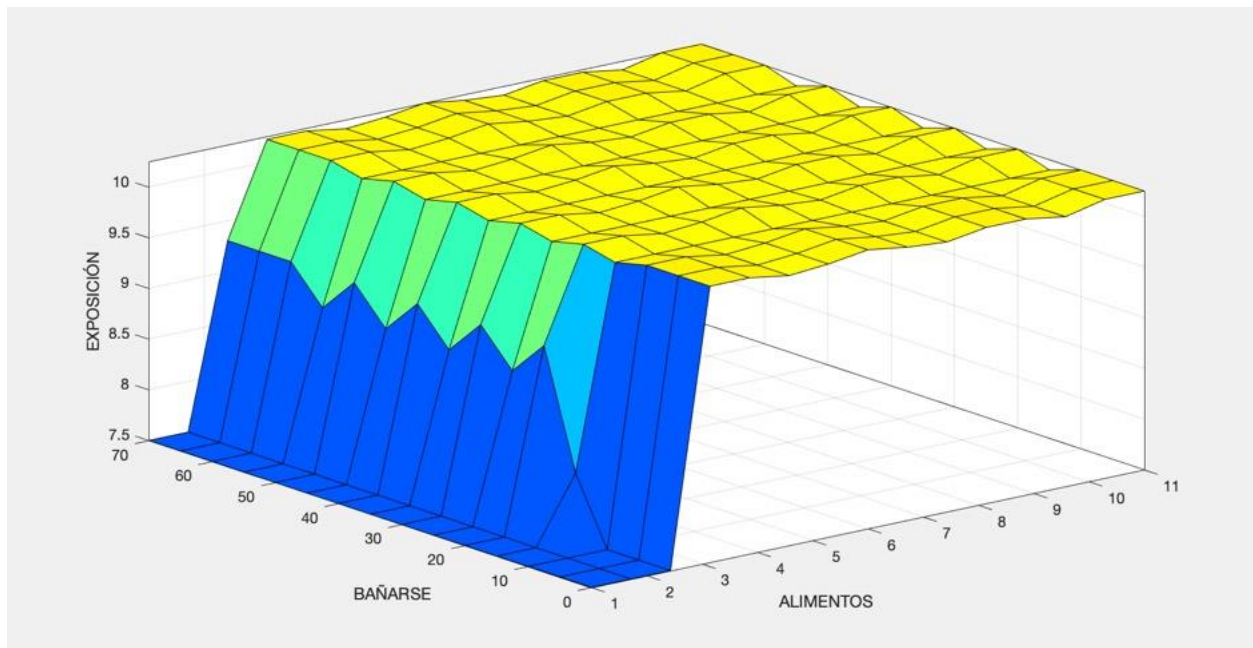
Beber y alimentos.



Beber y bañarse.

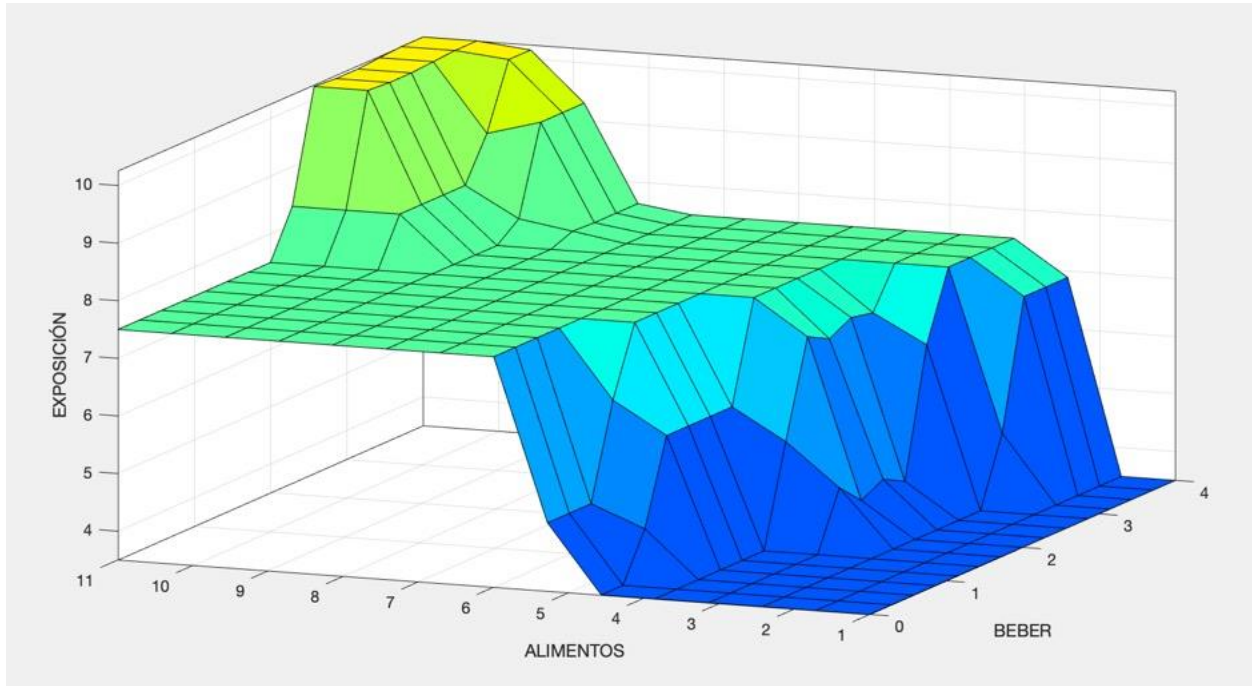


Alimentos y bañarse.

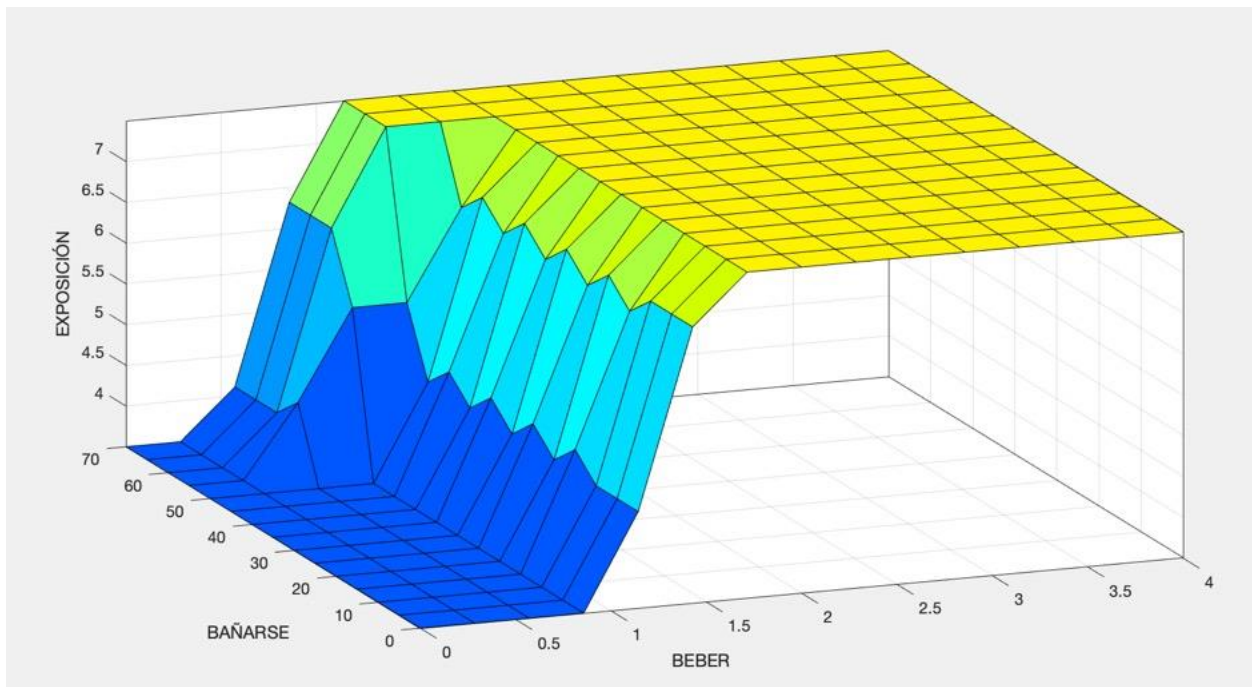


Punto de muestreo 10.

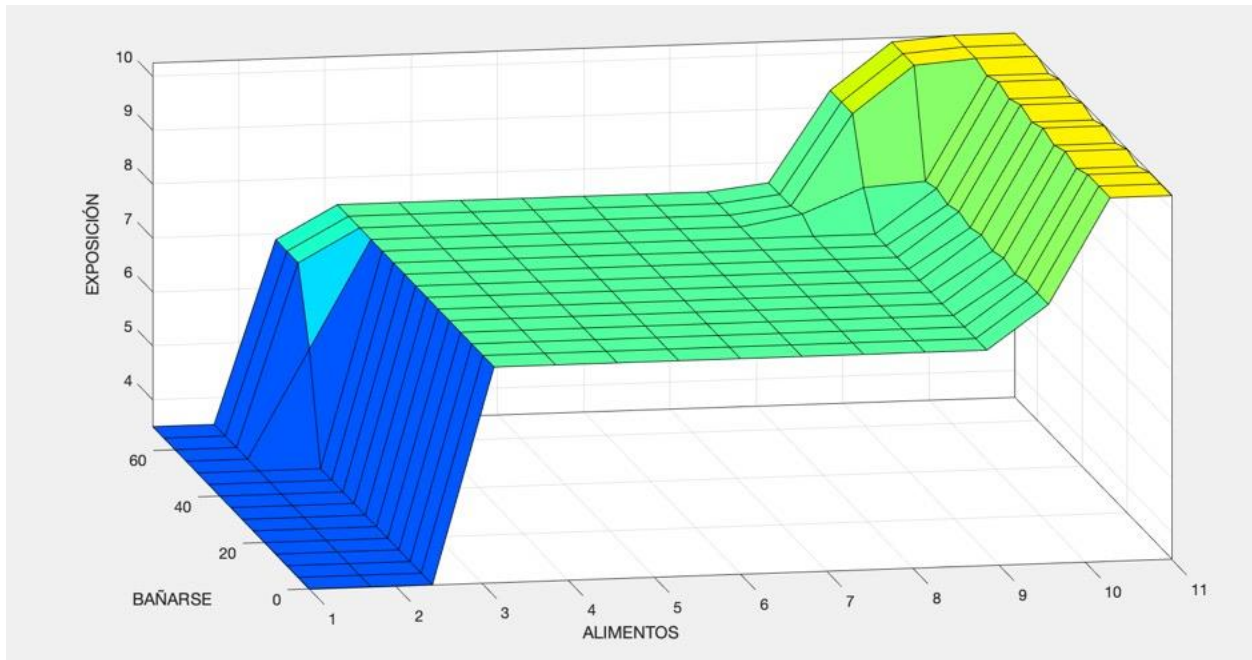
Beber y alimentos.



Beber y bañarse.

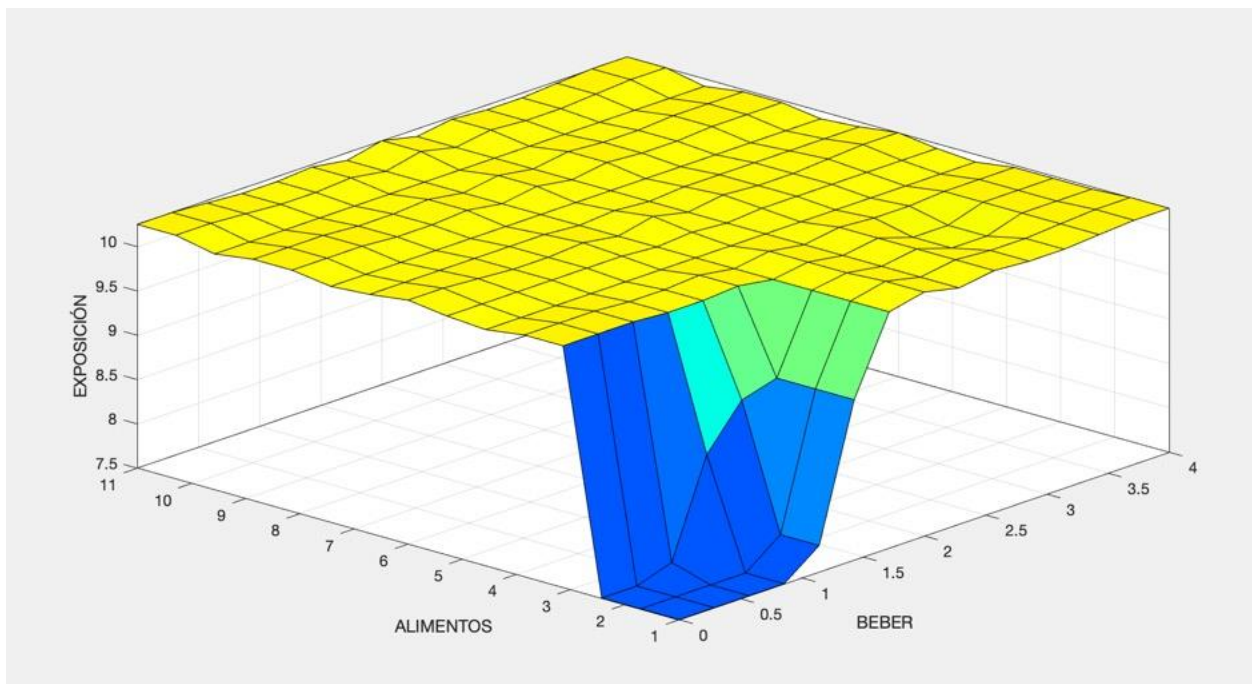


Alimentos y bañarse.

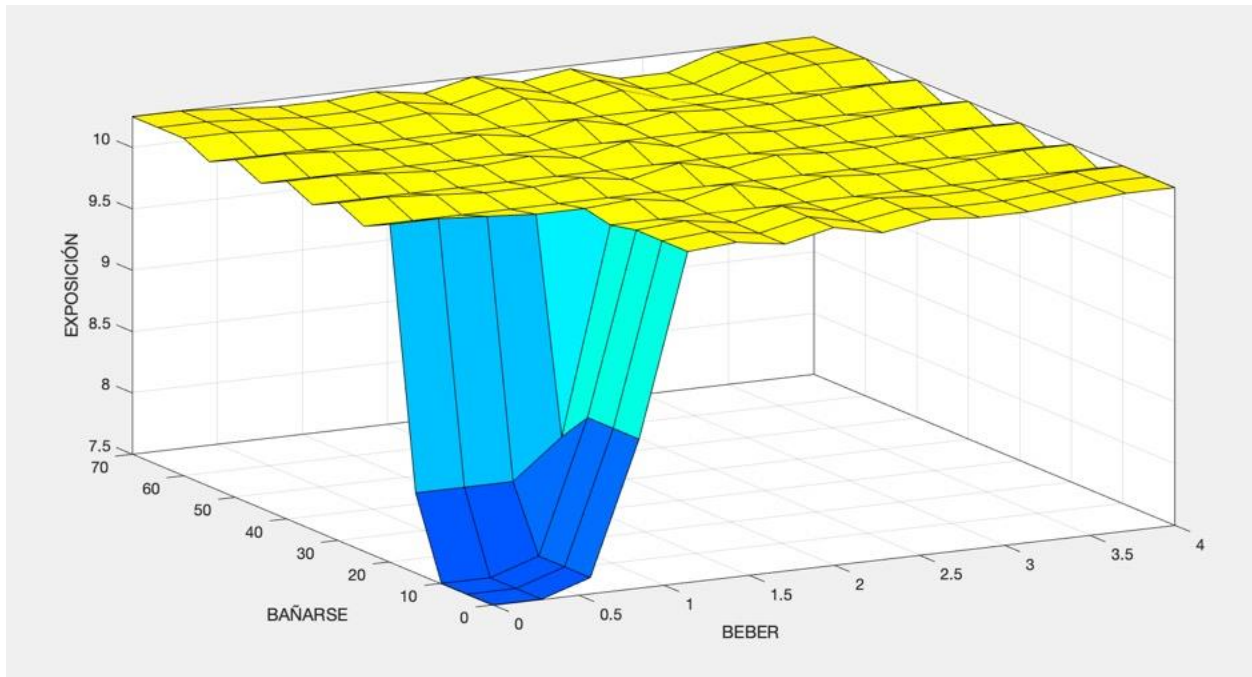


Punto de muestreo 11.

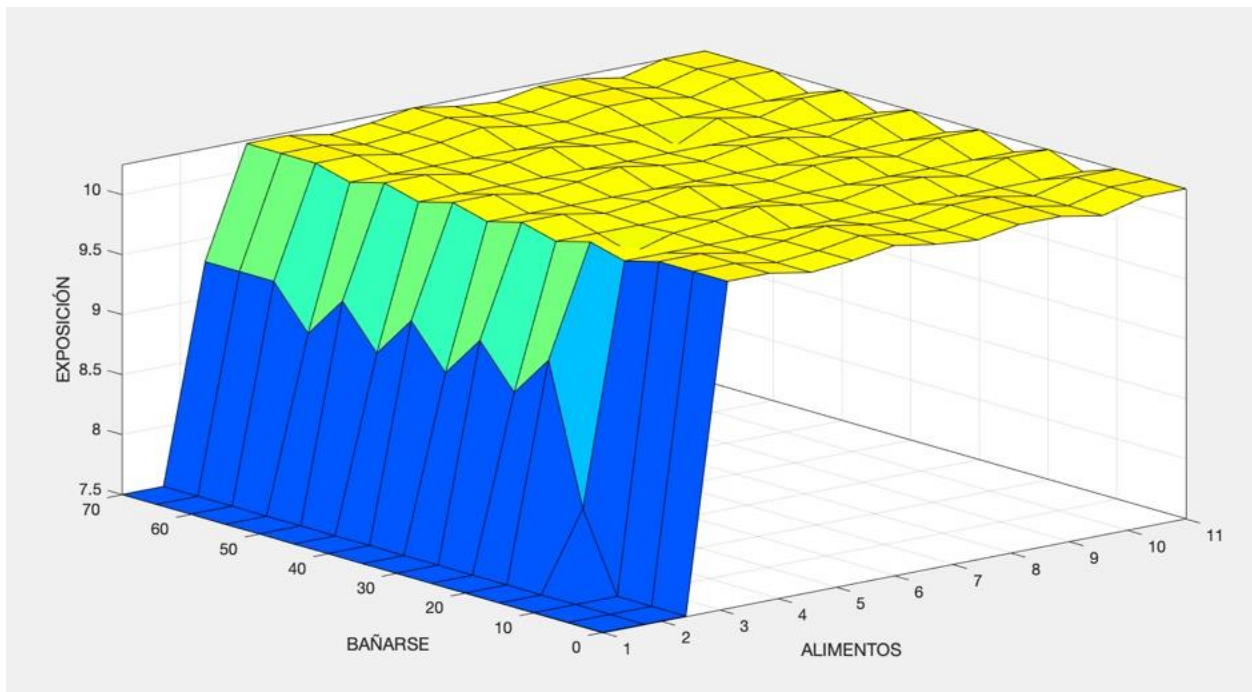
Beber y alimentos.



Beber y bañarse.

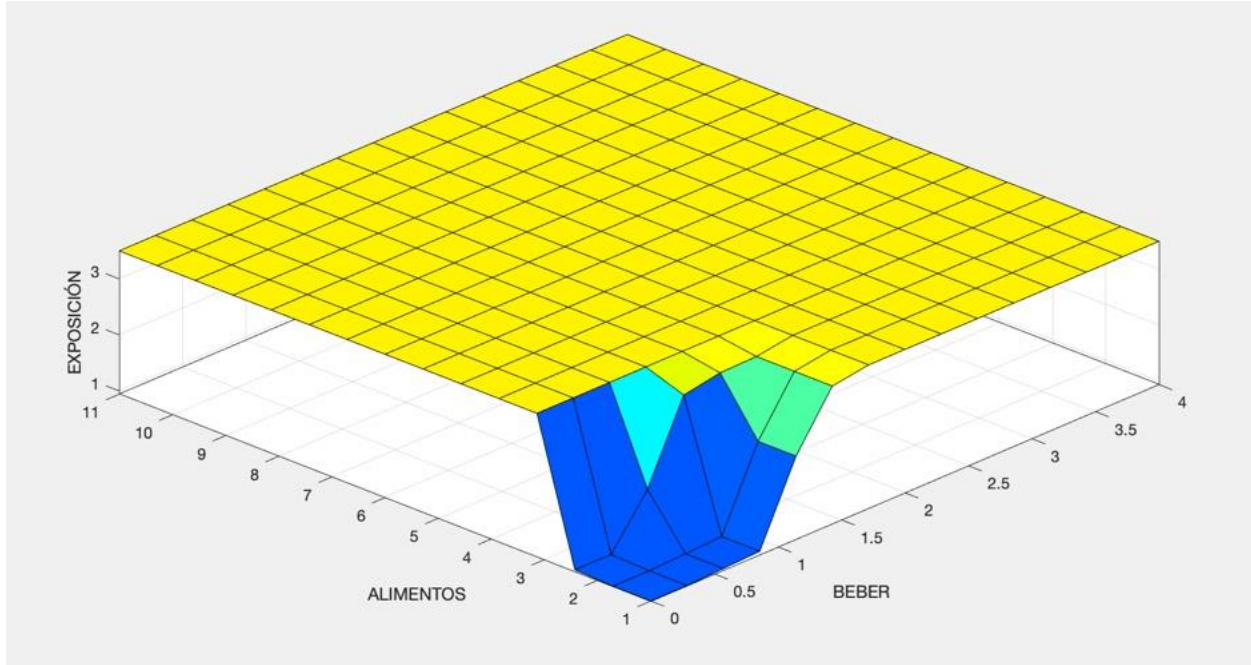


Alimentos y bañarse.

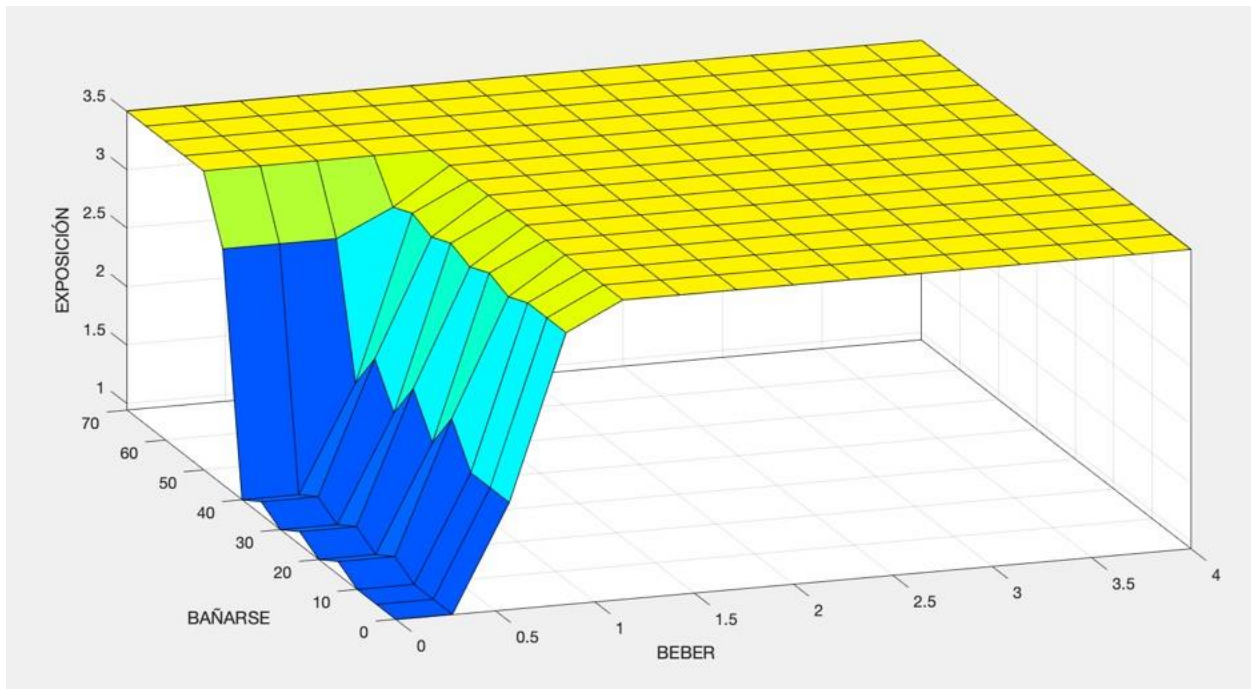


Punto de muestreo 12.

Beber y alimentos.



Beber y bañarse.



Alimentos y bañarse.

